

DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL LABORATORIO DE VENTILACIÓN
INDUSTRIAL BAJO LAS NORMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

JULIAN RODRIGUEZ TAPIAS
PAULO ANDRES ESPINOSA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2006

DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL LABORATORIO DE VENTILACION
INDUSTRIAL BAJO LAS NORMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

JULIAN RODRIGUEZ TAPIAS
PAULO ANDRES ESPINOSA

Pasantia para optar al título de Ingenieros Industriales

Director
HELDER GOMEZ LOPEZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCION
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2006

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado
en cumplimiento de los requisitos
exigidos por la Universidad
Autónoma de Occidente para optar
al título de Ingeniero Industrial.

Ing. JOSE HARVEY JARAMILLO
Jurado

Ing. JOSE DIMAS VELASCO
Jurado

Ing. GEOVANNY ARIAS CASTRO
Jurado

Santiago de Cali, 20 de junio de 2006

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	10
RESUMEN	13
INTRODUCCION	14
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACION	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
4. MARCO TEORICO	18
4.1 VENTILACION	18
4.2 AIRE DE RENOVACION	18
4.3 CAMPANA	18
4.4 CAPTADOR DE POLVO	18
4.5 FILTRO DE AIRE	18
4.6 SISTEMAS DE VENTILACIÓN	18
4.6.1 Sistemas de impulsión	18
4.6.2 Sistema de extracción	19
4.6.2.1 Extracción general	19
4.6.2.2 Extracción Localizada	19
5. METODOLOGIA	20

5.1 INVESTIGACIÓN	20
5.2 RECOPIACION Y TABULACION	20
5.3 INVENTARIO	20
5.4 DESARROLLO	20
5.4.1 Practicas de laboratorio	20
5.4.1.1 Objetivos	20
5.4.1.2 Marco teórico	20
5.4.1.3 Material y equipo	20
5.4.1.4 Procedimiento	21
5.4.1.5 Informe	21
5.4.1.6 Bibliografía	21
5.4.2 Manuales para el docente	21
6. DISEÑOS	22
6.1 SISTEMAS DE VENTILACIÓN	22
6.2 TUNEL DE VIENTO	23
6.3 ACCESORIOS	24
7. PARTICIPANTES DEL PROYECTO	26
8. RECURSOS DISPONIBLES	27
8.1 MATERIALES Y EQUIPOS	27
8.2 FINANCIERO	27
9. CONCLUSIONES	29
10. RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFIA	31

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Inventario de equipos	27
Cuadro 2. Presupuesto	28

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Campana extractora	22
Figura 2. Sistema de ventilación	22
Figura 3. Túnel de viento	23
Figura 4. Accesorios estándar para sistema de ductos grafados en espiral	24
Figura 5. Accesorios para conexiones múltiples	25

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Guías de laboratorio y manuales para el docente	32
Anexo 2. Paper en formato ifac	95

GLOSARIO

AIRE DE RENOVACION: termino empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior que, de forma controlada, es introducido en un edificio para sustituir el aire extraído.

AIRE STANDARD: aire seco a 20 °C y 1 atm. Su densidad vale 1.2 kg/m³. Calor específico del aire seco = 0.24 kcal/kg °C.

CAMPANA: entrada diseñada para capturar el aire contaminado y dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.

CAPTADOR DE POLVO: depurador diseñado para separar el aire extraído, antes de su descarga al exterior, cantidades importantes de partículas. Margen habitual: concentraciones iguales o superiores a 7 mg/m³.

COEFICIENTE DE ENTRADA: relación entre el caudal real producido por un valor dado de la presión estática en la campana y el caudal teórico que existiría si la totalidad de la presión estática se convirtiera en presión dinámica con un rendimiento del 100%. Se expresa como el cociente entre el caudal real y el teórico.

DENSIDAD: cociente entre la masa de un espécimen o sustancia y su volumen. La masa de la unidad de volumen de una sustancia. Cuando el peso puede usarse sin riesgo de confusión como sinónimo de masa, la densidad es el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

DEPURADOR: aparato diseñado con el fin de separar del aire los contaminantes que contiene, tales como polvo, gases, vapores y humos. (Son depuradores los lavadores, filtros de aire, precipitadores electroestáticos y los filtros de carbón activo.)

FACTOR DE DENSIDAD: cociente entre la densidad real del aire y la densidad de aire Standard. El producto del factor de densidad por la densidad del aire Standard (1.2 kg/m³) da la densidad real en kg/m³; $d \times 1.2 = \text{densidad real del aire, kg/m}^3$.

FACTOR DE FORMA: relación anchura / longitud.

FACTOR DE FORMA DE UN CODO: la anchura a lo largo del eje del codo dividida por su profundidad en el plano de curvatura.

FILTRO DE AIRE: depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que aquel sea introducido en el edificio. Margen de trabajo habitual: hasta 7 mg/m^3 . Nota: el aire exterior en áreas de gran industria y en el interior de muchas industrias contiene concentraciones superiores a ésta, y por tanto el equipo adecuado para su depuración son los captadores de polvo.

GAS: fluido sin forma que tiende a ocupar uniformemente la totalidad del espacio disponible a temperatura y presión ordinarias.

HUMEDAD ABSOLUTA: peso de vapor de agua por unidad de volumen, gramos por centímetro cúbico.

HUMEDAD RELATIVA: cociente entre la presión parcial del vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura.

HUMO: aerosol formado bien por combustión o sublimación (smoke) o por condensación de vapores de materiales sólidos (fume).

MILIMETRO DE COLUMNA DE AGUA (mmcda): unidad de presión igual a la presión ejercida por una columna de agua de un milímetro de altura a temperatura Standard. Equivale a 1 kg/m^3 .

NIEBLA: pequeñas gotas de una material que es usualmente liquido a temperatura y presión ordinarias.

PERDIDA DE CARGA EN LA ENTRADA: caída de presión producida por el flujo de aire en la entrada a una campana o conducto (mmcda).

PESO ESPECÍFICO: cociente entre la masa de la unidad de volumen de una sustancia a la masa del mismo volumen de una sustancia Standard. Usualmente se toma como sustancia de referencia el agua a 4°C . Para gases se acostumbra tomar como sustancia de referencia el aire seco a la misma presión y temperatura que el gas.

PLENO: cámara para la igualación de presión.

POLVO: pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante procesos mecánicos tales como molturación, perforación, pulido, explosiones, etc. Las partículas de polvo presentes en un material pueden pasar al aire a causa de operaciones tales como paleado, tamizado, transporte, etc.

PRESION DINAMICA: presión cinética en la dirección del flujo que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Se expresa normalmente en mmcd.

PRESION ESTATICA: presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo, Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente se expresa, cuando se trata de aire, en mmcd. (Tendencia a dilatar o colapsar el conducto.)

PRESION TOTAL: suma algebraica de las presiones estática y dinámica (con especial atención al signo).

TEMPERATURA HUMEDA: la temperatura húmeda termodinámica es la temperatura a la cual el agua sólida o líquida, por evaporación en el aire, puede saturar adiabáticamente el aire a la misma temperatura. La temperatura húmeda (a secas) es la temperatura indicada por un termómetro húmedo construido y utilizado correctamente.

VELOCIDAD DE CAPTURA: velocidad de aire en cualquier punto delante de la boca de una campana, o en la propia boca de la misma, necesaria para superar las corrientes de aire opuestas a la captación y aspirar el contaminante situado en ese punto arrastrándolo hacia la campana.

VELOCIDAD EN RENDIJA: flujo lineal de aire a través de una rendija, m/s.

VELOCIDAD MINIMA EN EL CONDUCTO: velocidad mínima del aire necesaria para mover las partículas en la corriente de aire, m/s.

ZONA DE CONFORT (promedio): margen de temperaturas efectivas en el cual la mayoría (50% o más) de adultos se siente confortables.

RESUMEN

Se parte de la necesidad de diseñar e implementar prácticas de laboratorio en el área de ventilación industrial debido a que en la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) y a nivel del sur occidente colombiano se carece de laboratorios de este tipo que fomenten la investigación. El grupo de investigación de la UAO (Grupo de competitividad y prospectiva empresarial), tomó la decisión de comenzar a implementar, desde la parte de diseño teórico hasta su estructuración, una serie de laboratorios enfocados hacia la investigación, entre los cuales se encuentra el laboratorio de Ventilación Industrial.

En este documento se justifica la elaboración del proyecto el cual cumple con los objetivos planteados inicialmente de proponer teóricamente el laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial para fortalecer el ejercicio de la docencia, la investigación y extensión en pregrado como en postgrado.

Se plantea un cronograma con actividades específicas seguido por una metodología investigativa con el objetivo de recopilar y tabular la mayor información posible para efectuar su análisis posterior. Primero se realiza un diagnóstico a nivel regional en el campo de la ventilación industrial, dando como resultado la carencia de este tipo de laboratorios en la región. Los que más se aproximan son laboratorios de mecánica de fluidos, los cuales no son utilizados propiamente en ventilación industrial sino que se utilizan para determinar el comportamiento de fluidos en otras consideraciones. Después se procede al análisis de textos y manuales que comprenden del tema los cuales junto con la toma de inventario de los equipos que poseen los laboratorios de la UAO, suministran suficiente información que permite elaborar teóricamente las prácticas de laboratorios.

En el cumplimiento del proyecto se elaboraron cinco (5) prácticas de laboratorio con sus respectivos manuales para el docente, se proponen diseños en infraestructura y recomendaciones en equipos que ayudarían a un desarrollo óptimo de las guías de laboratorio de ventilación industrial.

INTRODUCCION

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales posee una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores, nieblas, etc. El disconfort térmico es originado por ambientes de trabajos insalubres e incómodos, por carecer de renovación constante del aire. Un sistema de ventilación bien diseñado ofrece una solución eficaz a estas situaciones, en las que se requieren la protección del trabajador. La ventilación también puede ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables u otras situaciones deseables como el transporte neumático de granos y diversos fluidos.

El interés que impulsó la realización de este proyecto fue la ausencia de información y la falta de control en higiene y seguridad industrial de este campo, de lo cual deriva la elaboración de una serie de cinco (5) guías didácticas para la adquisición de conocimientos básicos sobre ventilación industrial, donde se pretende enfocar la investigación. En el se plantean fundamentalmente los diferentes sistemas de ventilación industrial, equipos a utilizar, terminología, guías prácticas del estudiante y manuales para que el docente desarrolle las guías, donde se exponen algunos métodos y cálculos necesarios que permiten diseñar sistemas de ventilación industrial.

En el desarrollo industrial, con sus variados y complejos procesos en los cuales se utilizan productos y sustancias químicas, algunos elevadamente tóxicos, se puede generar contaminación como polvos, humos, gases, vapores, neblinas, etc., otros procesos generan contaminación térmica en los ambientes de trabajo y medio ambiente en general.

Lo anterior hace importante conocer y aplicar los conceptos sobre ventilación propuestos en este documento a fin de obtener buenos diseños en sistemas de control efectivo de la contaminación del aire.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Uno de los problemas existentes en el país es la falta de laboratorios de investigación – docencia - extensión, por tal motivo es estéril los adelantos en la investigación de los controles de ruido, vibraciones, radiaciones y temperatura en la industria Colombiana, siendo dichos controles muy escasos, de reserva y dominio de las empresas ejecutoras.

La aplicación de la salud ocupacional en Colombia ha brillado más en un alto porcentaje (%) por realizar actividades diferentes a la investigación en los factores de riesgo.

Debido a que la universidad autónoma de occidente no cuenta con laboratorios de ventilación enmarcados bajo las normas de higiene y seguridad industrial surge la necesidad de implementarlo para que esto les permita a los estudiantes de pregrado y especialización tener un acercamiento a la situación real que se presenta en las industrias.

Esto despierta la necesidad de comprobar las diferentes variables de la ventilación vistos durante todo el proceso de la materia, además la necesidad de utilización de equipos y técnicas existentes para dicha comprobación. Este laboratorio les brindara una ventaja cuando les toque afrontar en la práctica un caso similar.

2. JUSTIFICACION

La universidad tiene un gran compromiso de egresar buenos profesionales en ingeniería industrial en el área de salud ocupacional como también especialistas en higiene y seguridad industrial en la escuela de post-gradados. Es vital encaminar los esfuerzos académicos para desarrollar laboratorios especializados en este campo, porque son pocos los que se encuentran. Existen en Colombia laboratorios académicos pero con poco ingrediente investigativo, como por ejemplo en el Seguro Social (ISS), la Universidad de Antioquia, la Universidad del bosque (Bogota) y a nivel tecnológico el instituto Jaime Izaza Cadavid (Medellín).

A través de la elaboración de el laboratorio de ventilación enmarcado bajo las normas de higiene y seguridad industrial la universidad autónoma de occidente pasara a ser una de las mas adelantadas en tener un laboratorio que se rija bajo estas normas, lo que se buscara con esto es brindarle a la sociedad ingenieros industriales con amplio conocimiento en este tema de el área de la salud ocupacional y especialistas en higiene y seguridad industrial con una generosa noción en el tema de ventilación industrial.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar teóricamente el laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial para fortalecer el ejercicio de la docencia, la investigación y extensión en pregrado como en postgrado.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir actividades, métodos y técnicas pedagógicas para aplicar en las prácticas de laboratorio que ayuden a la comprobación de los temas teóricos de Salud ocupacional y de las materias de Higiene y Seguridad Industrial de la especialización.
- Diseñar laboratorios de higiene y seguridad industrial de gran calidad para dar plataforma tecnológica en la docencia científica de la especialización y otros programas emergentes como mecánica, biomecánica, ergonomía, ingeniería ambiental, etc.
- Establecer los diferentes elementos que permitan, en la academia, desarrollar sistemas de ventilación.
- Proponer para posterior desarrollo la infraestructura básica en: recursos físicos, maquinaria, equipos y materiales para los laboratorios de ventilación general.
- Inventariar equipos y dispositivos de los laboratorios de otras ingenierías para aprovecharlos como parte del laboratorio de ventilación.

4. MARCO TEORICO

4.1 VENTILACION

El principal motivo para la creación de el laboratorio de ventilación industrial, a pesar que este tema es muy extenso, es que los estudiantes de pregrado y especialización apliquen, practiquen y conozcan los diferentes conceptos y variables que se manejan sobre la ventilación durante todo el proceso de la materia. Además darles a conocer, por medio de la practica, que mediante una buena ventilación se logra la eliminación de las impurezas que contaminan la atmósfera, las cuales son consecuencia de los gases, humos, vapores y polvo que se originan en las distintas operaciones que en él se ejecutan, y también de los productos que se expelen de los mismos trabajadores en la respiración y transpiración.

Para mantener la atmósfera del lugar de trabajo en condiciones y composiciones normales, es necesario una adecuada ventilación, entendiéndose por este término, la circulación y la renovación del aire, lo cual se puede lograr por medios mecánicos o naturales, para lograr un ambiente sano y agradable en los sitios de trabajo.

4.2 AIRE DE RENOVACION

Término empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior que, de forma controlada es introducido en un edificio para sustituir el aire extraído.

4.3 CAMPANA

Entradas diseñadas para capturar el aire contaminado y dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.

4.4 CAPTADOR DE POLVO

Depurador diseñado para separar el aire extraído antes de su descarga al exterior, cantidades importantes de partículas. Margen habitual. Concentraciones iguales o superiores a 7mg/m^3 .

4.5 FILTRO DE AIRE

Depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que aquel sea introducido en el edificio.

4.6 SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Comúnmente en la industria se divide en sistemas de impulsión y sistemas de extracción.

4.6.1 Sistemas de impulsión. Utilizado para crear un ambiente confortable en la planta. Impulsa aire habitualmente templado, a un local de trabajo (Sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación).

4.6.2 Sistema de extracción. Se emplean para eliminar los contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable. Se clasifican en dos grupos genéricos.

4.6.2.1 Extracción general. Se emplean para el control de ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en un área.

4.6.2.2 Extracción Localizada. Se basan en el principio de capturar el contaminante en, o muy cerca de, su origen.

5. METODOLOGIA

Se empieza por definir un método de trabajo el cual se divide en diferentes fases compuestas por actividades específicas.

5.1 INVESTIGACIÓN

Se realizó una investigación en la región la cual determina una carencia de infraestructura y material teórico con respecto a ventilación industrial ya que los conceptos de fluidos y presiones son utilizados en otras áreas como termodinámica, aplicados en laboratorios de ingeniería mecánica donde se analiza el comportamiento de fluidos en otras consideraciones.

5.2 RECOPIACION Y TABULACION

Debido a la escasez de información en el ámbito regional con respecto al tema tratado en este documento. Se optó por recopilar y tabular información teórica de textos y manuales para un posterior análisis.

5.3 INVENTARIO

Se generó un inventario en los laboratorios de Ingeniería Industrial y de otros programas, para determinar la infraestructura con que cuenta la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) que puede ayudar al desarrollo del proyecto... Véase el numeral 8.1...

5.4 DESARROLLO

Con la información obtenida se inició la elaboración de cinco (5) prácticas y cinco (5) manuales para el docente de laboratorios sobre ventilación Industrial. Donde se proponen conceptos básicos donde el estudiante puede desarrollar herramientas suficientes para determinar sistemas de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial.

5.4.1 Prácticas de laboratorio. Cada práctica de laboratorio se compone por objetivos, marco teórico, material y equipo, procedimiento, informe y bibliografía. Se pueden observar en el anexo 1.

5.4.1.1 Objetivos. Se definen los objetivos que se piensan alcanzar con el desarrollo de la práctica de laboratorio.

5.4.1.2 Marco teórico. Suministra la información suficiente para el desarrollo de la práctica de laboratorio. Se implementan tablas y gráficos para ilustrar de una mejor manera el ejercicio.

5.4.1.3 Material y equipo. Describe los materiales y equipos que se utilizan en la práctica.

5.4.1.4 Procedimiento. Explica las actividades que se deben desarrollar y los datos que se deben calcular en la práctica.

5.4.1.5 Informe. Reporte final en forma de texto escrito que debe suministrar el estudiante una vez terminada la practica.

5.4.1.6 Bibliografía. Textos y manuales de donde se tomo información para el desarrollo de la práctica.

5.4.2 Manuales para el docente. Tienen los mismos componentes que las prácticas de laboratorio, pero con un marco teórico más extenso. Además la solución a los cálculos establecidos en el procedimiento y las respuestas a los informes. Se pueden observar en el anexo 1.

Las guías y los manuales para el docente se diseñaron bajo el formato que implementa el departamento de sistemas de producción de la UAO, el cual plantea especificaciones de texto diferentes a las recomendadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Ver Anexos.

6. DISEÑOS

Se hacen algunas propuestas de diseño con el objetivo de crear una infraestructura adecuada para el desarrollo del laboratorio de ventilación industrial.

6.1 SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Se utilizan en la practica de laboratorio uno, tres, cuatro y cinco para medir velocidades de captura y determinar eficiencias en campanas y cabinas

Figura 1. Campana extractora

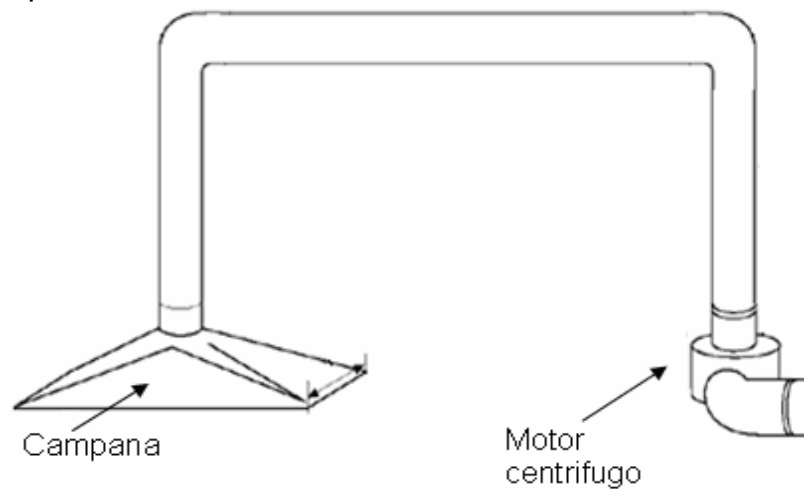
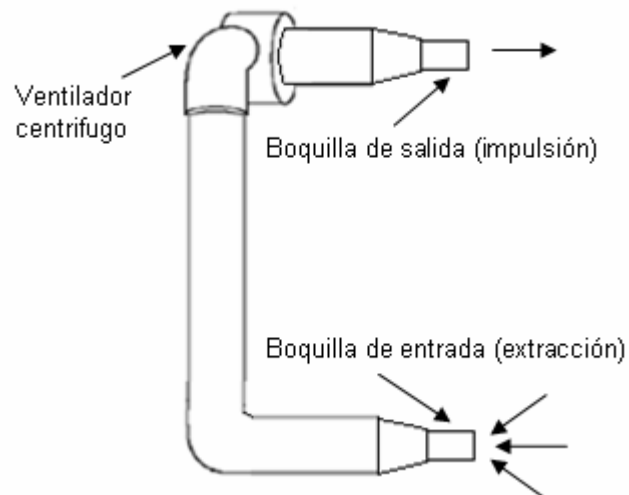


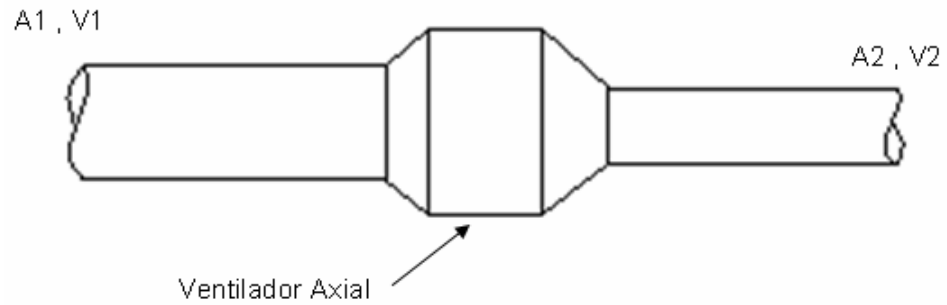
Figura 2. Sistema de ventilación



6.2 TUNEL DE VIENTO

Se utiliza en la practica de laboratorio dos (2) para el calculo de ecuaciones fundamentales. Se compone por un par de ductos de diferente área, dos (2) acoples y un motor axial de velocidad variable. Ver figura 3.

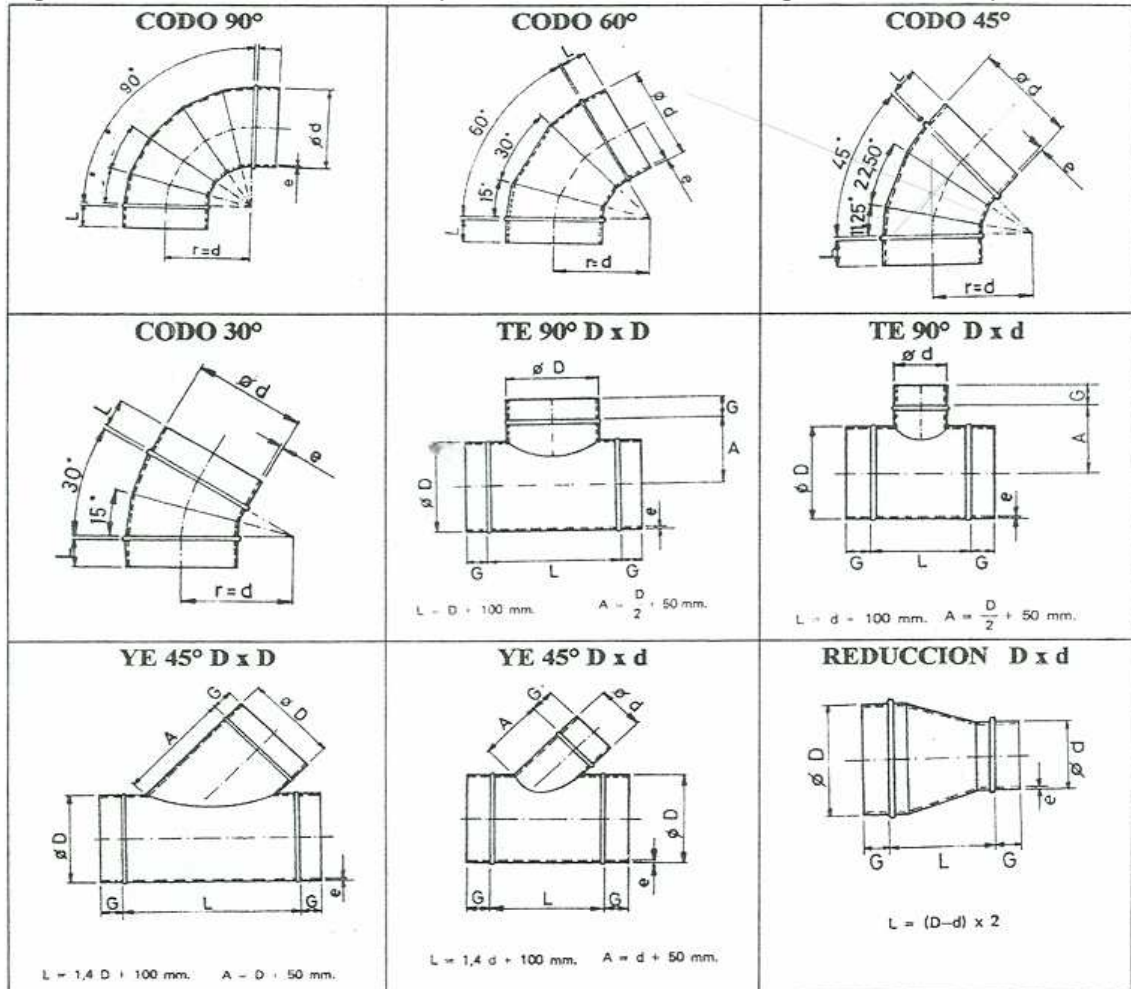
Figura 3. Túnel de viento



6.3 ACCESORIOS

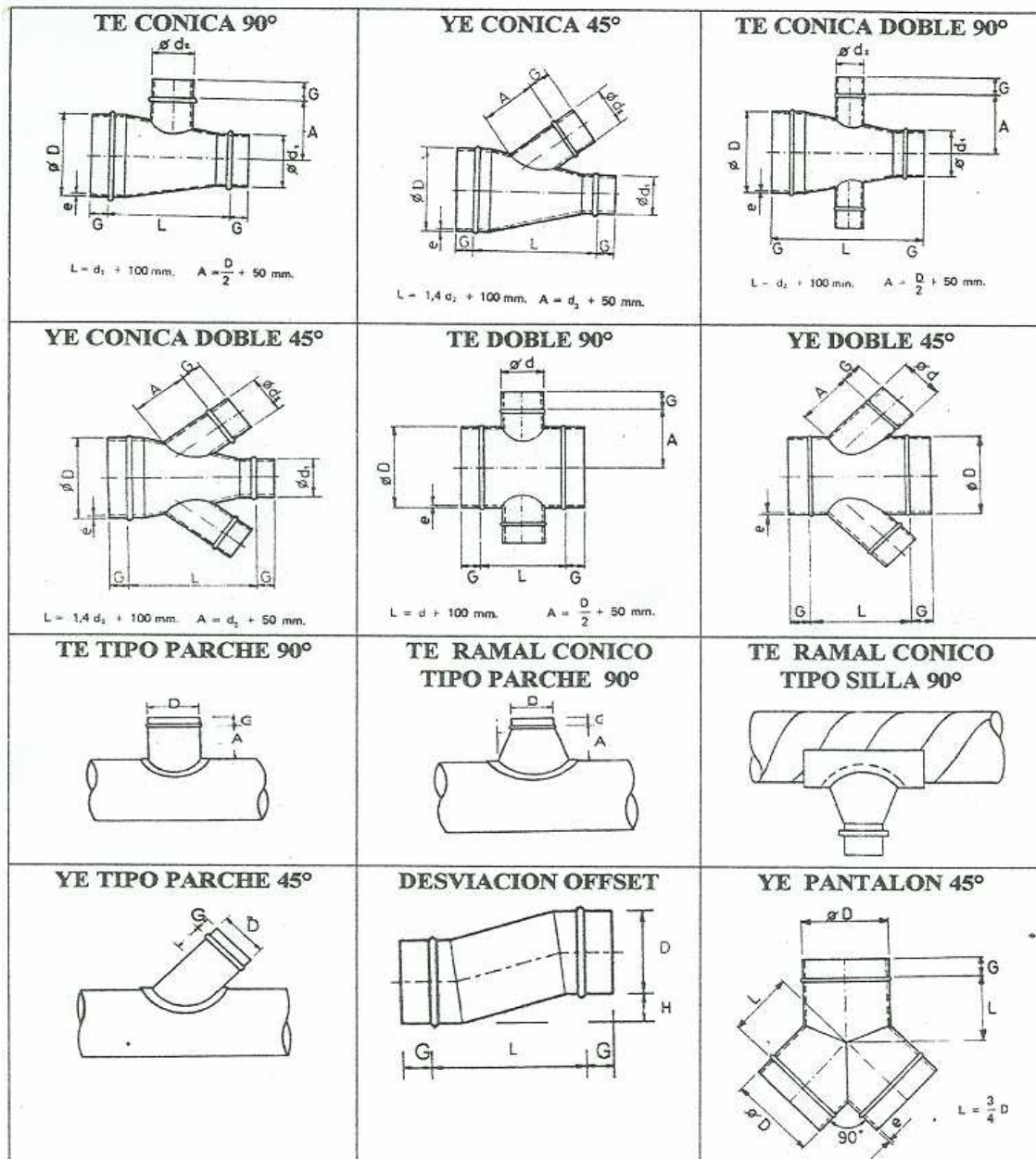
Tipos de conexiones que hacen parte de un sistema de ventilación.

Figura 4. Accesorios estándar para sistema de ductos grafados en espiral



Fuente. Manual spiroductos v-2000. Cali: Spiroductos Ltda, 2000. p. 1.

Figura 5. Accesorios para conexiones múltiples



Fuente. Manual spiroductos v-2000. Cali: Spiroductos Ltda, 2000. p. 2.

7. PARTICIPANTES DEL PROYECTO

El proyecto de investigación y el posterior desarrollo teórico del laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial, es realizado por los autores.

La propuesta inicial, que corresponde a la creación de un grupo que adelante una investigación en ventilación industrial, fue realizada por el departamento de sistemas de producción de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) encabezada por el docente, José Harvey Jaramillo Miller.

8. RECURSOS DISPONIBLES

8.1 MATERIALES Y EQUIPOS

La UAO cuenta con equipos suficientes para el desarrollo práctico de los laboratorios de ventilación industrial, los cuales se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Inventario de equipos

INSTRUMENTO	FUNCION	MARCA	MODELO	CANTIDAD	UNIDADES DE MEDIDA	UBICACIÓN
Anemómetro DAVIS	Medir velocidad del aire	BALTIMORE M.D.	Serie No. 64068 B. Análogo	1	Pies/Minuto	Laboratorio Industrial
Velómetro jr.	Medir velocidad del aire	ALNOR INSTRUMENT CO.	Análogo	1	Pies/Minuto	Laboratorio Industrial
Termo higrómetro	Medir temperatura y humedad relativa	OAKTON	Serie No. 03313 - 90	1	%Rh, °C.	Laboratorio Industrial
Tubos Pitot	Medir presiones (PE, PD)	DWYER	Análogo	1	mm cda	Laboratorio Industrial
Termoanemómetro		COLE PALMER	Serie No. 21245365 Digital	1	%comfort, °C-°F, inHg - mb/hPa.	Laboratorio Industrial
Ventilador Centrifugo	-	-	Análogo	1	-	Laboratorio Mecánica
Tubería, codos	-	-	-	1	-	Laboratorio Mecánica
Boquillas, Diafragmas discos a la salida	-	-	-	3	-	Laboratorio Mecánica
Sistema de ventilación compuesto por campana ductos y motor centrifugo.	Sistema de extracción de material particulado.	-	-	1	-	Laboratorio Industrial

8.2 FINANCIERO

Se cuenta con un presupuesto aprobado por la UAO el cual ayudara a crear infraestructura en la implementación del laboratorio de ventilación industrial. Ver cuadro 2.

El desarrollo practico del laboratorio y la implementación de infraestructura queda pendiente a realizarse en un posterior proyecto, ya que el alcance del proyecto actual es el desarrollo teórico del laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial.

Cuadro 2. Presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VENTILACIÓN	
		RECURSO	
		UNIVERSIDAD	DESEMBOLSO
PERSONAL			
Profesor tiempo completo (coordinador) 192H/semestre	1	2.635.800	
Profesor Hora cátedra 192H/semestre	1		2.635.800
EQUIPOS			
Ductos Ventiladores Centrífugos tubo pitot, manómetros		10.800.000	
MATERIALES			
Viajes Nacionales			950.000
Servicios Técnicos Especializados			4.800.000
		13.435.800	8.385.800
TOTAL PROYECTO		21.821.600	.

9. CONCLUSIONES

Se desarrollo teóricamente el laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial para fortalecer el ejercicio de la docencia, la investigación y extensión en pregrado como en postgrado.

Se definieron actividades, métodos y técnicas pedagógicas para aplicar en las prácticas de laboratorio de ventilación que ayuden a la comprobación de los temas teóricos de Salud ocupacional y de las materias de Higiene y Seguridad Industrial de la especialización.

Se diseñaron cinco (5) prácticas de laboratorio y cinco (5) manuales para el docente de ventilación industrial de gran calidad para dar plataforma tecnológica en la docencia científica de la especialización y otros programas emergentes como mecánica, biomecánica, ergonomía, ingeniería ambiental, etc.

Se establecieron diferentes elementos que permiten, en la academia, desarrollar sistemas de ventilación.

Se propone para posterior desarrollo la infraestructura básica en: recursos físicos, maquinaria, equipos y materiales para los laboratorios de ventilación general.

Se inventariaron equipos y dispositivos de los laboratorios de otras ingenierías para aprovecharlos como parte del laboratorio de ventilación.

10. RECOMENDACIONES

Adquirir un instrumento para la medición de velocidad del aire de función digital, ya que los equipos con que cuenta la universidad actualmente para este tipo de operaciones, son de función análoga y se encuentran expuestos a arrojar datos incorrectos en algunas medidas.

El sistema de ventilación que posee actualmente los laboratorios de ingeniería industrial para realizar practicas de ventilación, esta mal diseñado por lo tanto no se recomienda su uso, y se sugiere construir los sistemas de ventilación propuestos en el numeral 6, los cuales se componen por sistemas de ductos en PVC de diferentes diámetros según la practica, campanas en lamina de diferente forma, un motor axial de velocidad variable para el túnel de viento y un motor centrifugo de velocidad variable para los otros diseños propuestos.

Se recomienda que los sistemas de ventilación, se fabriquen de tal manera donde se facilite su acople y desacople, para montar diferentes escenarios.

Comunicar a la comunidad Universitaria, particularmente a la Escuela de Post Grados, a las diferentes instalaciones de Educación Superior, al ministerio de Protección Social, a las Administradoras de Riesgos Profesionales y todas aquellas instituciones comprometidas con las Salud Ocupacional el adelanto de este proyecto ya que se cuenta con muy poca información en esta área.

Dar a conocer la existencia de estos laboratorios en la participación del congreso colombiano de seguridad industrial, que siempre se efectúa en la ciudad de Bogota, como también en otros eventos programados a nivel Nacional e internacional.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Ventilación industrial: Manual de recomendaciones practicas para la prevención de riesgos profesionales. Valencia: Artes graficas soler s.a., 1992. 321 p.

QUINCHIA, Rigoberto, H; PUERTA, Jorge, S. Ventilación industrial. Medellín: Impreso en Colombia por litografía dinámica, 1988. 273 p.

SHAMES, Irving, H. Mecánica de fluidos. 3 ed. México: McGraw-Hill, 1995. 825 p.

FOX, Robert, W; MCDONALD, Alan, T. Introducción a la mecánica de fluidos. 4 ed. México: McGraw-Hill, 1997. 916 p.

STREETER, Victor, L; WYLIE, E, Benjamín; BEDFORD, Keith, W. Mecánica de fluidos. 9 ed. México: McGraw-Hill, 2000. 734 p.

ANEXO 1



Facultad de Ingeniera Departamento de Sistemas de Producción Ingeniería Industrial



GUÍA DE LABORATORIO

VENTILACION INDUSTRIAL

Laboratorio de Ingeniería Industrial

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	34
PRACTICA DE LABORATORIO 1: CONOCIMIENTO Y MANEJO DE EQUIPOS DE MEDICION EN VENTILACION INDUSTRIAL.	35
PRACTICA DE LABORATORIO 2: COMPROBACION REGIMENES DE FLUJO (LAMINAR Y TURBULENTO) Y ECUACIONES FUNDAMENTALES.	39
PRACTICA DE LABORATORIO 3: SISTEMAS DE CAPTACION.	45
PRACTICA DE LABORATORIO 4: TIPOS DE CAPTACION.	48
PRACTICA DE LABORATORIO 5: PERDIDA DE PRESION Y VELOCIDADES DE CAPTURA.	51
MANUAL PARA EL DOCENTE PRACTICA DE LABORATORIO 1: CONOCIMIENTO Y MANEJO DE EQUIPOS DE MEDICION EN VENTILACION INDUSTRIAL.	57
MANUAL PARA EL DOCENTE PRACTICA DE LABORATORIO 2: COMPROBACION REGIMENES DE FLUJO (LAMINAR Y TURBULENTO) Y ECUACIONES FUNDAMENTALES.	63
MANUAL PARA EL DOCENTE PRACTICA DE LABORATORIO 3: SISTEMAS DE CAPTACION.	71
MANUAL PARA EL DOCENTE PRACTICA DE LABORATORIO 4: TIPOS DE CAPTACION.	79
MANUAL PARA EL DOCENTE PRACTICA DE LABORATORIO 5: PERDIDA DE PRESION Y VELOCIDADES DE CAPTURA.	83

INTRODUCCIÓN

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales posee una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores, nieblas, etc. El discomfort térmico es originado por ambientes de trabajos insalubres e incómodos, por carecer de renovación constante del aire. Un sistema de ventilación bien diseñado ofrece una solución eficaz a estas situaciones, en las que se requieren la protección del trabajador. La ventilación también puede ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables u otras situaciones deseables como el transporte neumático de granos y diversos fluidos.

LABORATORIO No 1

CONOCIMIENTO Y MANEJO DE EQUIPOS DE MEDICION EN VENTILACION INDUSTRIAL

1. OBJETIVOS

- 1.1. Identificar los diferentes equipos que se utilizan en la obtención de datos en ventilación.
- 1.2. Establecer una relación entre el estudiante y los equipos, mediante la toma de datos experimentales.

2. MARCO TEORICO

- **Velocidad del aire (V):** Refleja el movimiento del fluido, en la unidad de tiempo en el lugar de la medición; se expresa en metros por segundo, pies por minuto, kilómetros por hora.
- **Presión (P):** La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio con otra fuerza.

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando este, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción del equipo adyacente y ponen al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos. Para tales aplicaciones, las lecturas absolutas de gran precisión con frecuencia son tan importantes como lo es la seguridad extrema.

- **Presión dinámica (PD):** Presión cinética en la dirección del flujo que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Se expresa normalmente en mmca.
- **Presión estática (PE):** Presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente se expresa cuando se trata de aire, en mmca. (Tendencia a dilatar o colapsar el conducto)
- **Presión Total:** sumatoria de las presiones estática y dinámica.

$$PT = PE + PD$$

- **Temperatura (T):** La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida estadística de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema.
- **Humedad (H):** Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o el grado de humedad.
- **Humedad absoluta (Ha):** Peso de vapor de agua por unidad de volumen, gramos por centímetro cúbico. Esta medida es independiente de la temperatura o la presión.

- **Humedad Relativa (Hr):** Cociente entre la presión parcial del vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje (%).

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Velometro
- 3.2. Anemómetro
- 3.3. Tubos pitot
- 3.4. Termo-higrómetro
- 3.5. Sistema de ventilación compuesto por:
 - 3.5.1. Ventilador Centrífugo
 - 3.5.2. Sistema de doctos
 - 3.5.3. Campana extractora
 - 3.5.4. Rejilla (ubicada en la entrada de la campana, para facilitar las mediciones de velocidad)

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Medir la velocidad de captura a diferentes distancias de la entrada de la campana utilizando el velómetro y el anemómetro. Completar tabla 1.

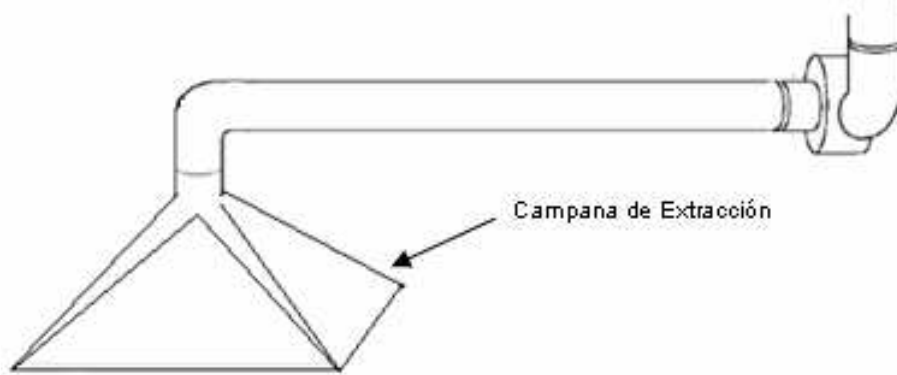


Figura 1 (campana de succión)

DISTANCIA (m)	Velocidad media del Aire (m/s) Velometro	Velocidad media del Aire (m/s) Anemómetro
0.10		
0.20		
0.30		

Tabla 1

- 4.2. Medir la presión dinámica y presión estática en tres puntos diferentes de la campana y obtener la presión total. Completar tabla 2.

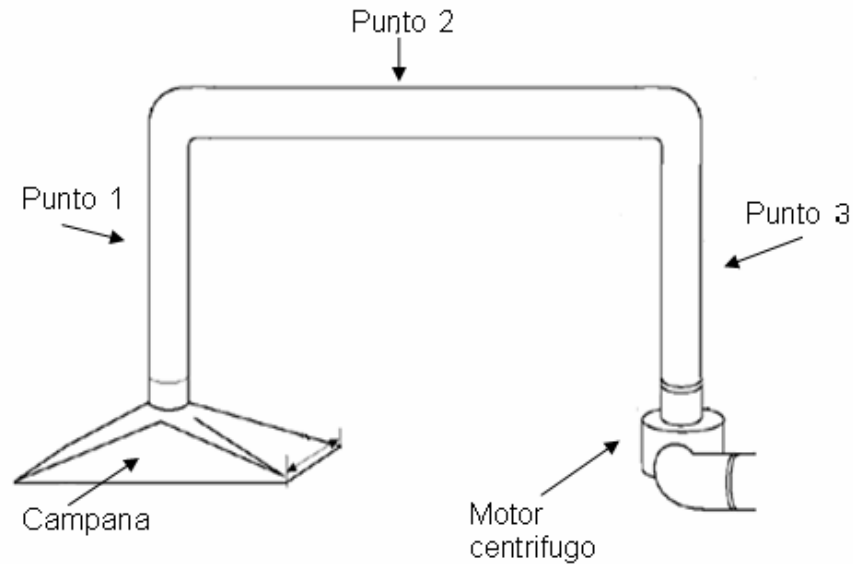


Figura 2 (sistema de ventilación)

Punto	Presión Dinámica (PD) (mmcda)	Presión Estática (PE) (mmcda)	Presión Total (PT) (mmcda)
1			
2			
3			

Tabla 2

- 4.3. Determinar las condiciones ambientales dentro y fuera de los laboratorios mediante el uso de un termohigrómetro. Completar tabla 3.

Condiciones	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%Hr)
Dentro del Laboratorio		
Fuera del Laboratorio		

Tabla 3

5. INFORME

- 5.1. ¿En qué situaciones de medición de velocidad del aire emplearía usted un velometro o un anemómetro?
- 5.2. ¿Qué se puede deducir a partir de los datos obtenidos en la medición del aire?
- 5.3. Determine si hay diferencia, de las presiones medidas en los diferentes puntos del sistema de ventilación, y explique ¿por qué?
- 5.4. ¿Cuáles son los puntos ideales para tomar mediciones de presión en un sistema de ventilación?
- 5.5. Conclusiones y recomendaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

LABORATORIO No 2

COMPROBACION REGIMENES DE FLUJO Y ECUACIONES FUNDAMENTALES

1. OBJETIVOS

- 1.1. Determinar los tipos de flujo a través de la expresión de Reynolds.
- 1.2. Emplear la ecuación de continuidad para determinar los flujos de entrada y salida en un túnel de viento de área variable.
- 1.3. Emplear la ecuación de Bernoulli para determinar la presión total en un ducto.
- 1.4. Determinar a partir del análisis de estos procesos el factor de corrección de la densidad.

2. MARCO TEORICO

Régimen de flujo

El movimiento de un fluido se llama flujo y la observación de los fluidos lleva a distinguir dos tipos de movimiento:

- Régimen laminar: Las trayectorias de las partículas del fluido son bien definidas y no se entrecruzan. La velocidad en cada punto del fluido es constante.
- Régimen turbulento: Se caracteriza por el movimiento desordenado de partículas. La velocidad en cada punto del fluido no es constante, sino que varía aleatoriamente con el tiempo.

El criterio para determinar el tipo de flujo lo estableció Reynolds, a través de una expresión adimensional:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{o,}$$

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

V = Velocidad del fluido (m/s)

D = Diámetro del ducto (m)

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

ρ = Masa específica (kg * s²/m⁴)

μ = Viscosidad del fluido (kg * s/m²)

El flujo, en régimen laminar en ductos, ocurre y es estable para valores del número de Reynolds inferiores a 2000. Entre este valor y 4000 se encuentra una zona crítica en la cual no se puede determinar con seguridad la pérdida de carga en ellos. El flujo en ductos de ventilación es turbulento, el cual se presenta a Re por encima de 4000.

Temperatura ° Celsius	μ , Viscosidad (dinámica)	ν , Viscosidad cinemática
-40	1.51 E -5	0.99 E -5
0	1.71 E -5	1.33 E -5
20	1.80 E -5	1.50 E -5
50	1.95 E -5	1.79 E -5

Tabla 1 (viscosidad del aire atmosférico)

Ecuación de continuidad

Representa la ley de conservación de las masas del fluido que circula por un ducto.

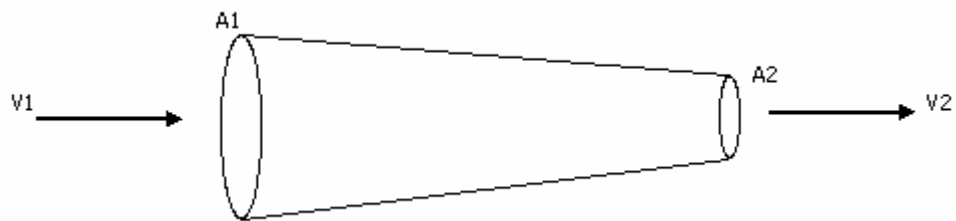


Figura 1

Formula para el calculo de la velocidad media (\bar{V})

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

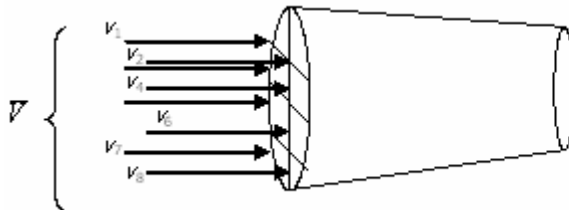


Figura 2

Según figura 1, tratándose de movimiento permanente, la cantidad de fluido o caudal que entra en la sección A_1 es igual al que sale por A_2 .

$$\gamma_1 A_1 \bar{V}_1 = \gamma_2 A_2 \bar{V}_2$$

γ = Peso específico

A = Área de la sección transversal del tubo o ducto

\bar{V} = Velocidad media en la sección

Se deduce que la variación del peso específico γ puede ser despreciada, por lo tanto:

$$A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2$$

De un modo general:

$$Q = A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2 = A \bar{V} = \text{Constante}$$

Q = Flujo ó Caudal (m^3/s)

A = Área sección de flujo (m^2)

\bar{V} = Velocidad media en la sección (m/s)

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \text{constante}$$

La ecuación se reduce a:

$$P + \frac{\delta V^2}{2} = \text{constante}$$

donde,

P = Presión estática (PE)

$\frac{\delta V^2}{2}$ = Presión dinámica (PD)

PT = PE + PD

Densidad (δ)

Cociente entre la masa de un espécimen o sustancia y su volumen, la masa de la unidad de volumen de una sustancia. Cuando el peso puede usarse sin riesgo de confusión como sinónimo de masa, la densidad es el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

Permite relacionar la presión dinámica con la velocidad del fluido:

$$PD = \frac{\delta V^2}{2}$$

El valor de δ considerado en esta ecuación es generalmente usado para condiciones normales del aire o sea 20 °C y 760 mm. de Hg., $\delta = 1.23 \text{ kg/m}^3$.

Este valor de la densidad se hace necesario corregirlo cuando se tienen condiciones distintas a las normales, por lo tanto se halla un δ' :

$$\delta' = n' \delta$$

Siendo n' el factor de corrección, el cual es función de la presión y la temperatura del aire, que se puede obtener de la siguiente expresión:

$$n' = \frac{293^\circ K}{T(\text{real})} \times \frac{P(\text{real})}{760 \text{ mmHg}}$$

T = Temperatura del aire en grados Kelvin.

P = Presión atmosférica en mmHg.

Según se requiera ventilación para comodidad o para eliminar aire quieto, se determina la cantidad de aire requerido de acuerdo al número de renovaciones por hora según la tabla 2.

TIPO DE LOCALES	RENOVACIONES POR HORA
Habitación de vivienda	3 – 5
Clínicas, hospitales y laboratorios	6 – 10
Clínicas de cirugía y quirófanos	10 – 20
Salas de enfermos infecciosos	20 – 40
Cuarto de baños y guardarropas	8 – 10
Sanitarios públicos	15 – 20
Salas de conferencias, aulas, escuelas	4 – 10
Cuarto de basuras	10 – 20
Comercio en general	6 – 10
Oficinas y despachos	5 – 8
Restaurantes, casinos y corredores	5 – 10
Salas de espectáculos y de baile	10 - 15

Tabla 2 (Renovaciones de aire recomendadas)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Velómetro
- 3.2. Barómetro
- 3.3. Ventilador Axial
- 3.4. Regla y/o cinta métrica
- 3.5. Tubos pitot
- 3.6. Termómetro
- 3.7. Túnel de viento compuesto por:
 - 3.7.1. Ductos de diferente diámetro
 - 3.7.2. Uniones

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Medir el diámetro de entrada y el diámetro de salida del túnel de viento. Según figura 2.
- 4.2. Calcular las áreas de entrada y de salida de los ductos del túnel.
- 4.3. Medir la velocidad promedio de entrada y la velocidad promedio de salida en el túnel de viento. Según figura 3.

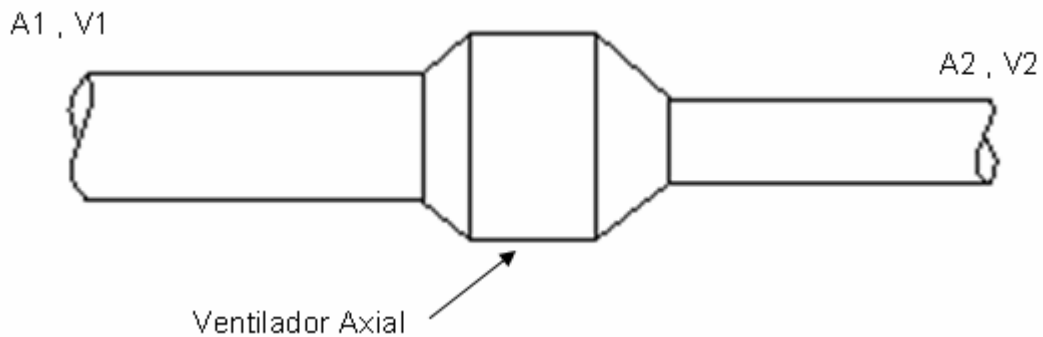


Figura 3 (Túnel de viento)

- 4.4. Calcular el número de Reynolds en el ducto y determinar el tipo de flujo.
- 4.5. Calcular el caudal de entrada y el caudal de salida del ducto y determinar si se cumple la ecuación de continuidad.
- 4.6. Determinar la densidad del fluido mediante el factor de corrección.
- 4.7. Calcular la presión total en el ducto de salida utilizando la ecuación de Bernoulli.

5. INFORME

- 5.1. Calcular cuantos recambios por hora podría generar el ventilador utilizado en la práctica, en un aula de clase de la Universidad Autónoma la cual ocupa un volumen de aire de 120 m^3 . Determinar si el sistema es eficiente, mediante los valores recomendados de la tabla 2.
- 5.2. Conclusiones y recomendaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

LABORATORIO No 3 SISTEMAS DE CAPTACION

1. OBJETIVO

- 1.1. Reconocimiento de los diferentes tipos de campanas simples, compuestas y cabinas.
- 1.2. Demostrar la distribución de las velocidades de captura alrededor de una campana de succión.
- 1.3. Comprobación de las velocidades en función de la formula DALLA – VALLE.

2. MARCO TEORICO

Sistemas de captación

El nombre general utilizado para los sistemas de captación es de campanas. "Su principal función es captar los diferentes contaminantes generados en los procesos industriales". Dado que la mayoría de los contaminantes carecen de inercia, su movimiento esta relacionado con el proceso mismo.

Una campana puede pensarse como un magneto, es decir, como si tuviera una fuerza de atracción para cada molécula de aire en la vecindad, disminuyéndose su capacidad de atracción a medida que las moléculas se apartan de ella.

Básicamente, el aire se aproxima desde todas las direcciones hacia la fuente de succión. El conocimiento del campo formado alrededor de la toma, es necesario para poder calcular el flujo de aire que se necesita extraer en un caso dado.

Impulsión y extracción de flujo en campanas

El aire impulsado desde una abertura pequeña retiene su efecto direccional a lo largo de una distancia considerable más allá del plano de la abertura. Sin embargo, si el flujo de aire a través de la misma abertura fuera invertido, en forma que operara como una abertura de extracción, que manejara el mismo volumen de aire, el flujo se volvería completamente no direccional y su rango de influencia se reduciría enormemente. Por esta razón las campanas usadas para extracción local no deben ser usadas para ningún proceso que no se pueda realizar en la vecindad inmediata de la campana.

En campanas libremente suspendidas circulares y cuadradas, la velocidad en el eje puede expresarse con una buena aproximación mediante la formula de DALLA – VALLE.

$$V = \frac{Q}{10X^2 + A}$$

V = Velocidad en el eje a distancia X desde la campana.

X = Distancia del punto a la superficie de la boca de aspiración.

Q = Flujo de aire.

A = Área de la abertura de la campana.

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Ventilador centrífugo
- 3.2. Ductos
- 3.3. Codos
- 3.4. Boquillas (cono reductor)
- 3.5. Velometro.
- 3.6. Regla métrica y/o cinta métrica.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Ensamblar el mecanismo de ventilación (impulsión – extracción) y medir diámetros de boquilla.

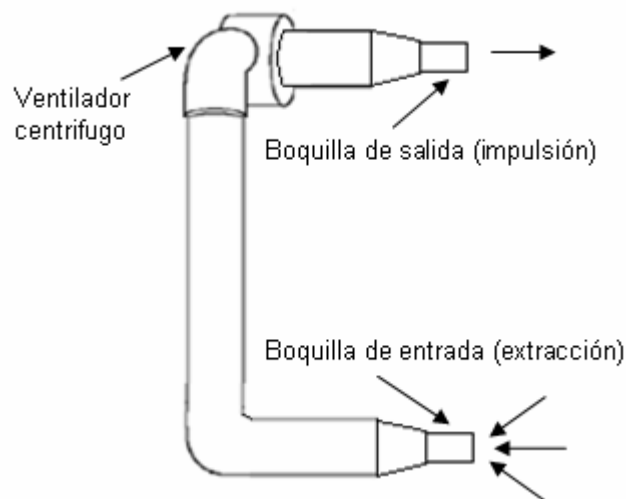


Figura 1 (Mecanismo de ventilación)

- 4.2. Registrar velocidades de captura en la boquilla de extracción. Completar tabla 1.

Velocidad 1 m/s	Velocidad 2 m/s	Velocidad 3 m/s	Velocidad Media m/s

Tabla 1

- 4.3. Realice curvas de nivel representándolas gráficamente en forma porcentual con referencia al valor máximo de captura (100% en el borde de la campana).

5. INFORME

- 5.1. ¿A qué distancia encontramos una misma velocidad x , para cada uno de los sistemas (impulsión y extracción) en términos porcentuales y respecto al diámetro de boquilla?
- 5.2. Calcular mediante la formula DALLA – VALLE la velocidad del eje a una distancia de 10 cm.
- 5.3. Demostrar la diferencia de eficiencia entre sistemas de impulsión y extracción.
- 5.4. Conclusiones y recomendaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

LABORATORIO No 4 TIPOS DE CAPTACION

1. OBJETIVO

- 1.1. Reconocer las propiedades y utilidades de los diferentes tipos de campanas como parte fundamental de un sistema de captación.
- 1.2. Calcular los caudales de acuerdo con cada tipo de campana.

2. MARCO TEORICO

Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes que se difundan en el ambiente general del local de trabajo. La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, su función esencial es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana.

Existen varios tipos de captación de los contaminantes, de acuerdo a las características de las sustancias, las corrientes de aire presentes, el espacio disponible y los procesos que se realizan.

Encerramiento

Para que la captación sea efectiva se necesita un buen encerramiento de la fuente de contaminación con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo.

Cabinas

Es un sistema de protección idéntico al anterior, con la diferencia de que no puede lograrse un cierre total de las paredes. Generalmente posee paredes laterales y traseras pero carecen de paredes frontales. La parte libre permite el acceso del operario o las piezas hacia el proceso.

Campanas Externas

Van colocadas externamente a la fuente emisora. Se utilizan cuando no es posible encerrar o poner en una cabina el proceso.

Campanas de captura lateral

Para evitar que los trabajadores estén expuestos a un contaminante o cuando el espacio o el proceso lo exija, es necesario utilizar las campanas laterales. Estas campanas laterales en algunos procesos, especialmente los generadores de contaminantes, vapores, gases y neblinas, son utilizadas con ranuras con el fin de aumentar la velocidad de captura de los contaminantes y obtener una distribución uniforme del aire a través de la cara de la campana.

Campanas suspendidas

Se utilizan solamente en procesos calientes con aire que asciende verticalmente. Se debe evitar su uso en caso que el trabajador labore sobre la fuente, ya que estaría en la corriente de aire que asciende. Estas campanas son de poco uso, debido que son susceptibles a las corrientes de aire cruzadas, las cuales disminuyen su eficiencia.

Sistemas de ranura (Tanques abiertos)

Se utilizan cuando se requiere una velocidad uniforme del aire en una superficie relativamente grande. Las ranuras son muy utilizadas para la extracción de los vapores producidos en operaciones de decapado, tratamiento electrolítico y tratamiento físico – químico de superficies, ya que se realizan en tanques abiertos.

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCION	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0.2 O MENOS	$Q = 3.7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0.2 O MENOS	$Q = 2.6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0.2 O SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0.2 O SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTACION A LA OPERACION	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTACION A LA OPERACION	$Q = 1.4 PVH$ P = PERIMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACION
	RENDIJA MULTIPLE 2 O MAS RENDIJAS	0.2 O SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MULTIPLE CON PESTAÑA 2 O MAS RENDIJAS	0.2 O SUPERIOR	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

Tabla 1 (Tipos de campana)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Cabinas
- 3.2. Campanas
- 3.3. Velometro

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Con base en la utilización de las graficas, el conocimiento de las propiedades y el factor de forma, se calcula el caudal para cada una de las campanas con formulas predeterminadas experimentalmente por la ACGIH (american conference of govermental industrial hygienists)

5. INFORME

- 5.1. Teniendo como base los procedimientos de la práctica. Determinar que campanas son más eficientes y en que procesos se pueden utilizar.
- 5.2. Conclusiones y recomendaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

LABORATORIO No 5

PÉRDIDA DE PRESION Y VELOCIDADES DE CAPTURA

1. OBJETIVO

- 1.1. Identificar experimentalmente las velocidades requeridas para capturar a diferentes distancias diversos tipos de materiales particulados.
- 1.2. Con base en la medición experimental de Presión Dinámica, por medio de los Tubos Pitot o velometro y la utilización de graficas para Factor de Perdidas (Fc.), calcular las perdidas en campanas simples, compuestas, ductos y otros accesorios.

2. MARCO TEORICO

VELOCIDAD DE CAPTURA

Aplicando succión en el punto en que se origina un contaminante antes de que se esparza por la atmósfera general del local, el volumen de aire que se desplaza y la velocidad del aire en la campana de succión dependen de la operación y de la proximidad permisible de la campana al punto de escape del contaminante; si a través de ese punto se aplica una corriente de aire hacia la campana a una velocidad mayor que la de cualquier otra corriente y que la del contaminante, se evita la dispersión del contaminante.

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir en el proceso.

Esta velocidad de captura constituye por lo tanto la primera especificación en que debe basarse el diseñador de un sistema de ventilación exhaustiva.

PERDIDAS DE PRESION

Campanas

En un sistema exhaustivo local, el ventilador crea presión estática negativa. Esto hace que la presión atmosférica empuje aire hacia la campana en un esfuerzo por igualar las presiones. Pero el ventilador continua girando y en unos pocos segundos se establece una condición estable entre el medio y el sistema.

Como el aire posee masa y momento, cuando se encuentra en movimiento, le es difícil voltear esquinas agudas muy rápidamente, es decir, cuando se mueve a alta velocidad. Por esta razón se forma la vena contracta.

Cuando el aire es forzado a ingresar a un ducto se produce una distribución de flujo característico que se representa en la figura 1. En donde a una pequeña distancia de la entrada se produce la máxima contracción de la vena, que posteriormente se expande hasta alcanzar su régimen normal.

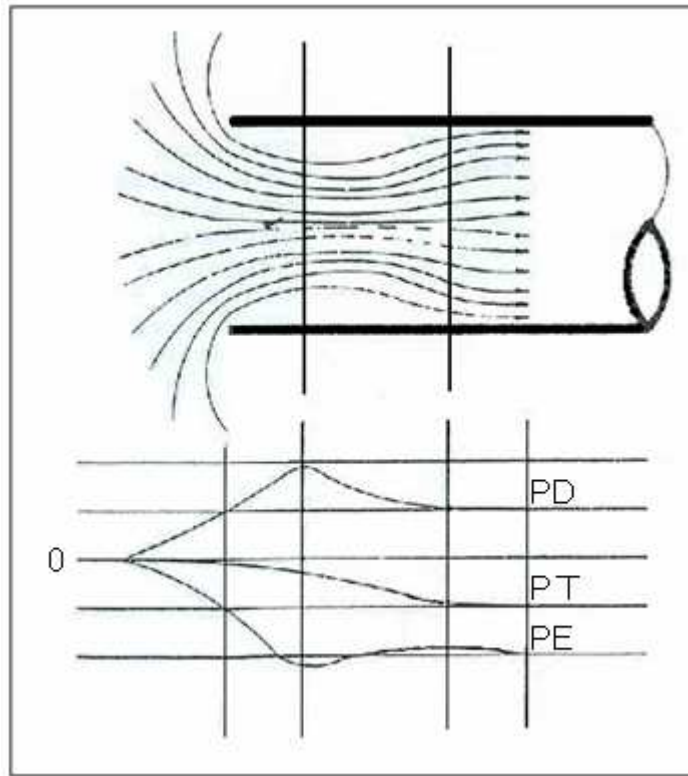


Figura 1 Vena contracta

La formación de la vena contracta es acompañada por una conversión de presión estática (PE) en presión de velocidad (PV) y viceversa, así:

Cuando el aire es forzado a través de una abertura estrecha u orificio, su velocidad aumenta. Se requiere más presión estática para que la velocidad del aire alcance la velocidad de la vena contracta. Entonces, cuando el aire se expande y se pone mas lento, es decir, después de la vena contracta, hay tanta turbulencia que muy poco de la presión estática se gana. Esto quiere decir que la presión estática extra, usada para acelerar el aire hasta la velocidad de la vena contracta, se pierde como calor.

En realidad se producen perdidas en la entrada a la campana. Estas perdidas en la entrada (h_{Ce}) se expresan normalmente mediante un factor de perdidas (F_c) multiplicado por la presión dinámica en el conducto de manera que $h_{Ce} = F_c PD$. El principio de conservación de la energía se expresa entonces:

$$PE_2 = -(PD_2 + h_{Ce})$$

El valor absoluto de PE_2 se denomina succión estática de la campana (PE_c). Por tanto:

$$PE_c = - PE_2 = PD_2 + h_{Ce}$$

Ductos

Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo del ducto: 1) pérdida de carga en los tramos rectos y 2) pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

Pérdida de carga en tramos rectos: La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto y la viscosidad cinemática del fluido. Los efectos de la velocidad, diámetro y viscosidad cinemática se combinan en el número de Reynolds (Re), que se define como:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

$V = \text{Velocidad del fluido (m/s)}$

$D = \text{Diámetro ducto (m)}$

$\nu = \text{Viscosidad cinemática (m}^2/\text{s)}$

El efecto de rugosidad superficial se da usualmente mediante la rugosidad relativa, que es el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (ε), definida como la altura media de las rugosidades para un material determinado, y el diámetro del conducto. Algunos valores típicos de rugosidad absoluta empleados en los sistemas de ventilación se dan en la tabla 1.

Material	Rugosidad absoluta (ε), cm.
Chapa galvanizada	0.015
Acero	0.005
Aluminio	0.005
Acero inoxidable	0.005
Conducto flexible (alma descubierta)	0.3
Conducto flexible (alma recubierta)	0.09

Tabla 1 Rugosidad superficial absoluta

Accesorios

Los accesorios (puntos singulares, codos, uniones, etc.) de un ducto también producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los dos siguientes métodos: 1) el método de la presión dinámica y 2) el método de la longitud equivalente.

En el método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (F) multiplicado por la presión dinámica en el ducto.

Así,

$$h_p = F \cdot P_D$$

h_p = Pérdidas de los puntos singulares

F = Coeficiente de pérdida

PD = Presión dinámica

En el método de la longitud equivalente se considera como función del tamaño del ducto y la presión dinámica. La tabla 2 corresponde a las pérdidas esperadas a velocidades del aire de alrededor de 20 m/s.

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCION	FACTOR DE PERDIDA EN LA ENTRADA (Fc)
	ABERTURA SENCILLA	0.93
	ABERTURA SENCILLA CON PESTAÑA	0.49
	CAMPANA EN CONO O CON ADAPTADOR	0.10
	ENTRADA CAMPANA REDONDEADA	0.04
	ORIFICIO (RENDIAS)	0.93
	CAMPANA TÍPICA PARA DESBORDADO	SALIDA RECTA = 0.65
		ADAPTACION = 0.40

Tabla 2 Factor de pérdidas en campanas

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir en el proceso.

El criterio de evitar despilfarros de potencia, hace necesario determinar para cada situación la velocidad mínima conveniente de captura, ya que esta gobierna el valor del flujo (cantidad de aire por unidad de tiempo).

Esta velocidad de captura constituye por lo tanto la primera especificación en que debe basarse el diseñador de un sistema de ventilación exhaustiva.

Pérdida en campana: La mayor pérdida a la entrada ocurre normalmente al principio del ducto, debido a la vena contracta. La eficiencia de una campana puede describirse por la relación entre el flujo real y el ideal. El flujo ideal se obtiene cuando toda la presión estática en la campana se convierte en presión de velocidad, es decir, no hay pérdidas a la entrada de la campana.

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Campanas
- 3.2. Ductos
- 3.3. Tubos de pitot
- 3.4. Velómetro

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Teniendo en cuenta el tipo de material particulado a capturar, su concentración y condiciones locativas, se selecciona el tipo de depurador de aire o filtro (accesorios). Los valores de pérdida para cada depurador viene recomendada por la ACGIH, valores que han sido hallados experimentalmente y que se relacionan en la siguiente tabla. (Tabla 3)

Tipo de captador	Maxima eficiencia con partículas de tamaño medio superior (en micras)	Pérdida de carga (mmoda)	Consumo de agua (litro/m³)	Espacio ocupado	Sensibilidad a cambios de caudal		Influencia de la humedad	Temperatura máxima para construcción standard, °C
					Pérdida de carga	eficacia		
PRECIPITADOR ELECTROESTATICO	0,25	12,5	-	grande	desprec.	si	mejora efico,	260
FILTRO DE TELA								
Intermitente - vibrador	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.	puede defilcultar la limpieza	
Continuo - vibrador	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.		
Continuo - aire inverso	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.		
Continuo - aire comprim.	0,25	75 -150	-	moderado	propor. a Q	desprec.		
VIDRIO AIRE INVERSO	0,25	75 - 200	-	grande	propor. a Q	desprec.		290
HUMEDOS								
Torre de relleno	1 - 5	40 - 90	0,6 - 1,2	grande	propor. a Q	si	ninguna	
Centrifugo	2 - 5	60 -150	0,4 - 0,6	moderado	propor. a Q²	si		
Dinamico	1 - 2	-	0,06 - 0,12	pequeño		no		
Estrangulamiento	1 - 5	60 -150	1,2 - 5,0	pequeño	pr. a Q o menor	varia / diseño		
ALTA EFICACIA								
Camara de niebla	0,5 - 5	50 - 10	0,6 - 1,2	moderado	propor. a Q²	algo	ninguna	sin limite
Venturi	0,5 - 2	250 - 2500	0,6 - 2,0	moderado	propor. a Q²	si		
CENTRIFUGOS SECOS								
Ciclon de baja presion	20 - 40	20 - 40	-	grande	propor. a Q²	si	puede causar	400
Ciclon de alta eficacia	10 - 30	75 - 150	-	moderado	propor. a Q²	si	condensacione	400
Dinamico por via seca	10- 20	-	-	pequeño	-	no	taponamientos	

Tabla 3. Características de filtros

Estos valores hacen referencia a las pérdidas de presión dinámica en un sistema de ventilación de los cuales ellos hacen parte.

NOTA 1: La pérdida de carga en los filtros de tela es la del conjunto material filtrante con torta de polvo. Las pérdidas de carga debidas a las conexiones deben ser añadidas por el diseñador.

NOTA 2: La pérdida de carga sensible a cambios de caudal de los precipitadores húmedos dinámicos y centrífugos secos dinámicos, es una función de la eficacia mecánica del conjunto ventilador – captador.

NOTA 3: En la cámara de niebla es necesario el enfriamiento de los gases de entrada para evitar una evaporación muy rápida de las gotas.

- 4.2. Mediante la utilización del Velómetro obtener la presión dinámica en el ducto. El valor hallado se multiplica por el factor de pérdida respectivo que se encuentra en la tabla para cada tipo de campana, ductos y accesorios. Esto para establecer las pérdidas de presión que se generan en todos los elementos que componen un sistema de ventilación. La sumatoria de todas las pérdidas de energía en el sistema, finalmente van a permitir elegir la potencia y características del ventilador en el proceso de diseño

5. INFORME

- 5.1. Medir la presión dinámica en los ductos y registrarlos en una tabla de datos.
- 5.2. Hallar el factor de pérdida (hp) correspondiente para cada elemento suministrado durante la práctica por medio de tabla 2.
- 5.3. Conclusiones y Recomendaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

MANUAL PARA EL DOCENTE
LABORATORIO No 1
CONOCIMIENTO Y MANEJO DE EQUIPOS DE MEDICION EN VENTILACION INDUSTRIAL

1. OBJETIVOS

- 1.1. Identificar los diferentes equipos que se utilizan en la obtención de datos en ventilación.
- 1.2. Establecer una relación entre el estudiante y los equipos, mediante la toma de datos experimentales.

2. MARCO TEORICO

- **Velocidad del aire (V):** Refleja el movimiento del fluido, en la unidad de tiempo en el lugar de la medición; se expresa en metros por segundo (m/s).
- **Presión (P):** La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza; se expresa en milímetros por columna de agua (mmcda).

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando este, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción del equipo adyacente y ponen al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos. Para tales aplicaciones, las lecturas absolutas de gran precisión con frecuencia son tan importantes como lo es la seguridad extrema.

- **Presión dinámica (PD):** Presión cinética en la dirección del flujo que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Se expresa normalmente en mmcda.
- **Presión estática (PE):** Presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente se expresa cuando se trata de aire, en mmcda. (Tendencia a dilatar o colapsar el conducto)
- **Presión Total:** sumatoria de las presiones estática y dinámica.

$$PT = PE + PD$$

- **Temperatura (T):** La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida estadística de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema.
- **Humedad (H):** Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o el grado de humedad.

- **Humedad absoluta (Ha):** Peso de vapor de agua por unidad de volumen, gramos por centímetro cúbico. Esta medida es independiente de la temperatura o la presión.
- **Humedad Relativa (Hr):** Cociente entre la presión parcial del vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje (%).

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Velometro
- 3.2. Anemómetro
- 3.3. Tubos pitot
- 3.4. Termohigrometro
- 3.5. Sistema de ventilación compuesto por:
 - 3.5.1. Ventilador Centrífugo
 - 3.5.2. Sistema de ductos
 - 3.5.3. Campana extractora
 - 3.5.4. Rejilla (ubicada en la entrada de la campana, para facilitar las mediciones de velocidad)

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Medir la velocidad de captura a diferentes distancias de la entrada de la campana utilizando el velometro y el anemómetro. Completar tabla 1.

R/ Por medio de un sistema de ventilación compuesto por un ventilador centrifugo, ductos, uniones y una campana, se producirá una extracción de aire con el objetivo de registrar algunos datos.

Utilizando los equipos de medición (velometro y anemómetro) registrar valores de velocidad del aire en diferentes distancias de la boca de la campana, donde se encuentra la rejilla (velocidad de captura).

Los datos obtenidos por los equipos están en unidades inglesas, pie por minuto (fpm), se debe realizar la conversión a unidades internacionales, metro por hora (m/h). Posteriormente ingresar los datos en la tabla 1.

1 pie = 0.3048 metros

1 metro = 3.2808 pies

Este procedimiento se realiza con el objetivo de familiarizar el estudiante con los equipos de medición de velocidad del aire.

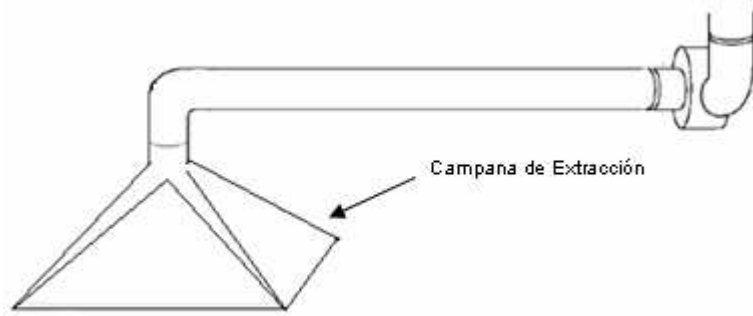


Figura 1 (campana de succión)

DISTANCIA (m)	Velocidad media del Aire (m/s) Velometro	Velocidad media del Aire (m/s) Anemómetro
0.10		
0.20		
0.30		

Tabla 1

4.2. Medir la presión dinámica y presión estática en tres puntos diferentes de la campana y obtener la presión total. Complete la tabla 2.

R/ Utilizando los tubos pitot en cada punto señalado por la figura 2. Se obtiene la presión dinámica (PD) y la presión estática (PE), en cada uno de los puntos.

Realizando la suma de la presión estática y la presión dinámica, se obtiene la presión total en cada uno de los puntos señalados. Estos datos se deben ingresar en la tabla 2.

Los datos obtenidos por el equipo de medición están en unidades internacionales, milímetros por columna de agua (mmcda).

Este procedimiento se realiza con el objetivo de familiarizar al estudiante con los equipos medidores de presión.

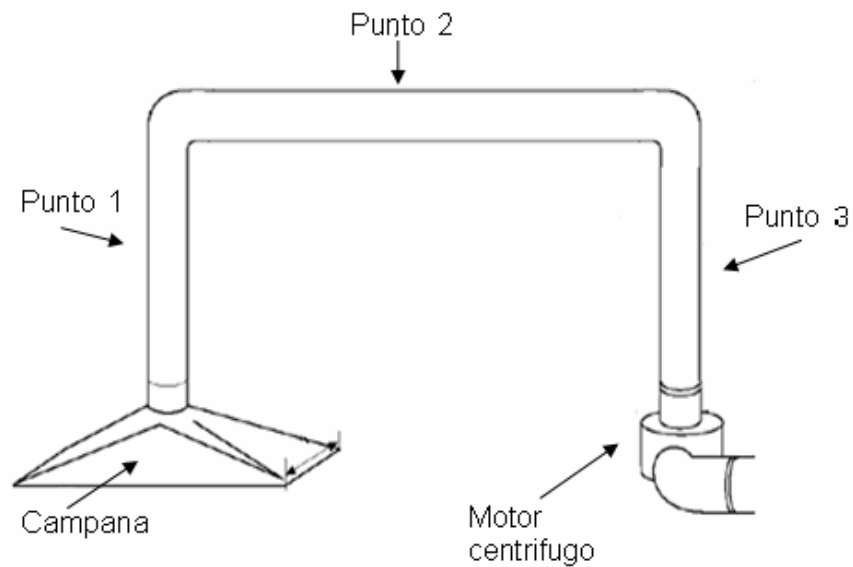


Figura 2 (sistema de ventilación)

Punto	Presión Dinámica (PV) (mmcda)	Presión Estática (PE) (mmcda)	Presión Total (PT) (mmcda)
1			
2			
3			

Tabla 2

4.3. Determinar las condiciones ambientales dentro y fuera de los laboratorios mediante el uso de un termohigrómetro. Complete la tabla 3.

R/ Mediante la utilización de un Termohigrometro registrar datos de temperatura y humedad relativa, dentro y fuera del laboratorio, para comparar datos y determinar diferencias en un recinto ventilado por aire acondicionado (dentro del laboratorio) y un escenario sometido a las condiciones del medio ambiente (fuera del laboratorio). Registrar los datos obtenidos en la tabla 3.

Con este procedimiento se pretende comparar condiciones ambientales en escenarios diferentes, en donde el estudiante pueda familiarizarse con los instrumentos medidores de temperatura y humedad relativa.

Condiciones	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%Hr)
Dentro del Laboratorio		
Fuera del laboratorio		

Tabla 3

5. INFORME

5.1. ¿En que situaciones de medición de velocidad del aire emplearía usted un velometro o un anemómetro?

R/ Según el procedimiento 4.1. Los datos obtenidos por el velometro son muy elevados en comparación a los datos obtenidos por el anemómetro. Esto es debido a que el velometro esta diseñado para registrar velocidades de aire pequeñas en sistemas de bajas presiones (aires acondicionados). Mientras que el anemómetro esta diseñado para registrar altas velocidades en sistemas que manejan presiones altas (renovación térmica).

5.2. ¿Que se puede deducir a partir de los datos obtenidos en la medición del aire?

R/ La eficiencia máxima se obtiene en la boca de la campana (velocidad máxima de captura), a medida que se aleja el instrumento de medición la velocidad empieza a disminuir.

Para tener una mejor eficiencia en un sistema de extracción la fuente debe estar lo mas cerca posible de la campana.

5.3. Determine si hay diferencia, de las presiones medidas en los diferentes puntos del sistema de ventilación, y explique ¿por que?

R/ Teóricamente las presiones deben ser iguales en cada uno de los puntos del sistema, pero experimentalmente se halla que hay pérdidas de presión por fricciones del fluido en ductos, codos, uniones y todos aquellos accesorios que integran un sistema de ventilación.

5.4. ¿Cuales son los puntos ideales para tomar mediciones de presión en un sistema de ventilación?

R/ Se recomienda tomar mediciones en la parte central de los ductos largos para evitar variaciones de presión generadas por turbulencias en codos, uniones y otros accesorios que conforman un sistema de ventilación.

5.5. Conclusiones y recomendaciones.

R/ Conclusiones y recomendaciones que deriven del desarrollo de la práctica.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

MANUAL PARA EL DOCENTE
LABORATORIO No 2
COMPROBACION REGIMENES DE FLUJO Y ECUACIONES FUNDAMENTALES

1. OBJETIVOS

- 1.1. Determinar los tipos de flujo a través de la expresión de Reynolds.
- 1.2. Emplear la ecuación de continuidad para determinar los flujos de entrada y salida en un túnel de viento de área variable.
- 1.3. Emplear la ecuación de Bernoulli para determinar la presión total en un ducto.
- 1.4. Determinar a partir del análisis de estos procesos el factor de corrección de la densidad.

2. MARCO TEORICO

Régimen de flujo

El movimiento de un fluido se llama flujo y la observación de los fluidos lleva a distinguir dos tipos de movimiento:

- Régimen laminar: Las trayectorias de las partículas del fluido son bien definidas y no se entrecruzan. La velocidad en cada punto del fluido es constante.
- Régimen turbulento: Se caracteriza por el movimiento desordenado de partículas. La velocidad en cada punto del fluido no es constante, sino que varía aleatoriamente con el tiempo.

El criterio para determinar el tipo de flujo lo estableció Reynolds, a través de una expresión adimensional:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{o,}$$

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

V = Velocidad del fluido (m/s)

D = Diámetro del ducto (m)

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

ρ = Masa específica (kg * s²/m⁴)

μ = Viscosidad del fluido (kg * s/m²)

El flujo, en régimen laminar en ductos, ocurre y es estable para valores del número de Reynolds inferiores a 2000. Entre este valor y 4000 se encuentra una zona crítica en la cual no se puede determinar con seguridad la pérdida de carga en ellos. El flujo en ductos de ventilación es turbulento, el cual se presenta a Re por encima de 4000.

Temperatura ° Celsius	μ , Viscosidad (dinámica)	ν , Viscosidad cinemática
-40	1.51 E -5	0.99 E -5
0	1.71 E -5	1.33 E -5
20	1.80 E -5	1.50 E -5
50	1.95 E -5	1.79 E -5

Tabla 1 (viscosidad del aire atmosférico)

Ecuación de continuidad

Representa la ley de conservación de las masas del fluido que circula por un ducto.

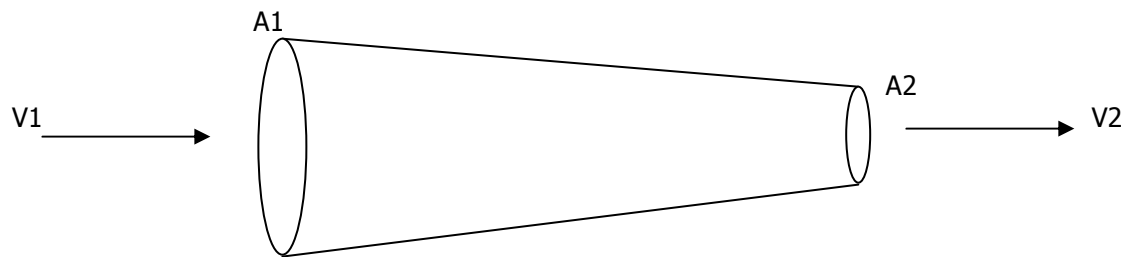


Figura 1

Formula para el calculo de la velocidad media (\bar{V})

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

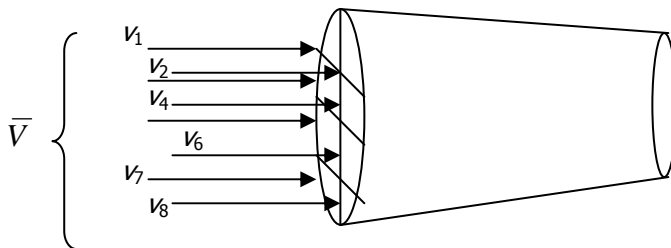


Figura 2

Según figura 1, tratándose de movimiento permanente, la cantidad de fluido o caudal que entra en la sección A_1 es igual al que sale por A_2 .

$$\gamma_1 A_1 \bar{V}_1 = \gamma_2 A_2 \bar{V}_2$$

γ = Peso específico

A = Área de la sección transversal del tubo o ducto

\bar{V} = Velocidad media en la sección

Se deduce que la variación del peso específico γ puede ser despreciada, por lo tanto:

$$A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2$$

De un modo general:

$$Q = A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2 = A \bar{V} = \text{Constante}$$

Q = Flujo ó Caudal (m^3/s)

A = Área sección de flujo (m^2)

\bar{V} = Velocidad media en la sección (m/s)

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \text{constante}$$

La ecuación se reduce a:

$$P + \frac{\delta V^2}{2} = \text{constante}$$

donde,

P = Presión estática (PE)

$\frac{\delta V^2}{2}$ = Presión dinámica (PD)

PT = PE + PD

Densidad (δ)

Cociente entre la masa de un espécimen o sustancia y su volumen, la masa de la unidad de volumen de una sustancia. Cuando el peso puede usarse sin riesgo de confusión como sinónimo de masa, la densidad es el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

Permite relacionar la presión dinámica con la velocidad del fluido:

$$PD = \frac{\delta V^2}{2}$$

El valor de δ considerado en esta ecuación es generalmente usado para condiciones normales del aire o sea 20 °C y 760 mm. de Hg., $\delta = 1.23 \text{ kg/m}^3$.

Este valor de la densidad se hace necesario corregirlo cuando se tienen condiciones distintas a las normales, por lo tanto se halla un δ' :

$$\delta' = n' \delta$$

Siendo n' el factor de corrección, el cual es función de la presión y la temperatura del aire, que se puede obtener de la siguiente expresión:

$$n' = \frac{293^\circ K}{T(\text{real})} \times \frac{P(\text{real})}{760 \text{ mmHg}}$$

T = Temperatura del aire en grados Kelvin.

P = Presión atmosférica en mmHg.

Según se requiera ventilación para comodidad o para eliminar aire quieto, se determina la cantidad de aire requerido de acuerdo al número de renovaciones por hora según la tabla 2.

TIPO DE LOCALES	RENOVACIONES POR HORA
Habitación de vivienda	3 – 5
Clínicas, hospitales y laboratorios	6 – 10
Clínicas de cirugía y quirófanos	10 – 20
Salas de enfermos infecciosos	20 – 40
Cuarto de baños y guardarropas	8 – 10
Sanitarios públicos	15 – 20
Salas de conferencias, aulas, escuelas	4 – 10
Cuarto de basuras	10 – 20
Comercio en general	6 – 10
Oficinas y despachos	5 – 8
Restaurantes, casinos y corredores	5 – 10
Salas de espectáculos y de baile	10 - 15

Tabla 2 (Renovaciones de aire recomendadas)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Velómetro
- 3.2. Barómetro
- 3.3. Ventilador Axial
- 3.4. Regla y/o cinta métrica
- 3.5. Tubos pitot
- 3.6. Termómetro
- 3.7. Túnel de viento compuesto por:
 - 3.7.1. Ductos de diferente diámetro
 - 3.7.2. Uniones

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Medir el diámetro de entrada y el diámetro de salida del túnel de viento. Según figura 2.

R/ Por medio de un túnel de viento compuesto por un ducto de entrada, un ducto de salida, un ventilador axial y un par de uniones se registraran algunos datos para comprobar algunas ecuaciones fundamentales respecto a los fluidos.

Mediante el uso de una regla ó cinta métrica registrar los diámetros de los ductos de entrada (D1) y salida (D2) del túnel de viento.

- 4.2. Calcular las áreas de entrada y de salida de los ductos del túnel.

R/ A partir de los datos registrados en el procedimiento 4.1, se calcula el área de entrada (A1) y el área de salida (A2).

$$A1 = \pi \frac{D1^2}{4}$$

$$A2 = \pi \frac{D2^2}{4}$$

- 4.3. Medir la velocidad promedio de entrada y la velocidad promedio de salida en el túnel de viento. Según figura 3.

R/ Se registran entre 3 y 5 datos de velocidad en la entrada del túnel de viento, se suman y se dividen por la cantidad de datos registrados. Se realiza la misma operación para hallar la velocidad promedio a la salida del túnel.

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

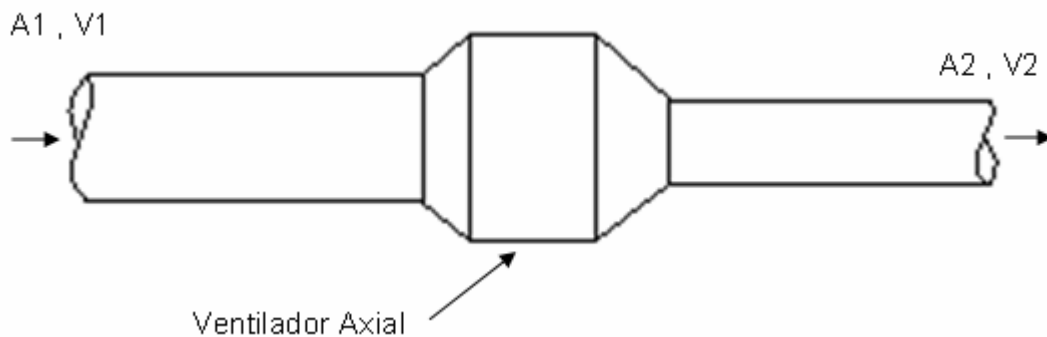


Figura 3 (Túnel de viento)

4.4. Calcular el número de Reynolds en el ducto y determinar el tipo de flujo.

R/ En este procedimiento se utilizara la primera formula de Reynolds, ya que a partir de los datos obtenidos en los procedimientos 4.2 y 4.3, se puede hallar la velocidad y el área en cualquier parte de los ductos. Además se puede encontrar la viscosidad cinemática del aire a través de la tabla 1. En donde la temperatura promedio del laboratorio es de 20 °C (grados centígrados) lo que equivale una viscosidad cinemática igual a 1.50 E-5.

Ingresar datos en formula de Reynolds:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

El flujo, en régimen laminar en ductos, ocurre y es estable para valores del numero de Reynolds inferiores a 2000. Entre este valor y 4000 se encuentra una zona crítica en la cual no se pude determinar con seguridad la perdida de carga en ellos. El flujo en ductos de ventilación es turbulento, el cual se presenta a Re por encima de 4000.

4.5. Calcular el caudal de entrada y el caudal de salida del ducto y determinar si se cumple la ecuación de continuidad.

R/ A partir de los datos obtenidos en los procedimientos 4.2 y 4.3 se puede calcular el caudal de entrada (Q1) y el caudal de salida (Q2). Al comparar los dos caudales se puede

Comprobar la ecuación de continuidad (Q1 = Q2).

$$Q1 = A1 * V1$$

$$Q2 = A2 * V2$$

A1 = Área de sección transversal del ducto de entrada

V1 = Velocidad del aire de entrada

A2 = Área de sección transversal del ducto de salida

V2 = Velocidad del aire de salida

4.6. Determinar la densidad del fluido mediante el factor de corrección.

R/ Registrar la presión atmosférica real y la temperatura real mediante el uso de un barómetro y un termómetro respectivamente.

El valor de la densidad (δ) usado para condiciones normales del aire o sea 20 °C y 760 mm de Hg., $\delta = 1.23 \text{ kg/m}^3$.

El valor de la densidad se hace necesario corregirlo cuando se tienen condiciones distintas a las normales, por lo tanto se halla un δ' :

$$\delta' = n' \delta$$

Siendo n' el factor de corrección, el cual es función de la presión y la temperatura del aire, que se puede obtener de la siguiente expresión:

$$n' = \frac{293^\circ K}{T(\text{real})} \times \frac{P(\text{real})}{760 \text{ mmHg}}$$

T = Temperatura del aire en grados Kelvin.

P = Presión atmosférica en mmHg.

4.7. Calcular la presión total en el ducto de salida utilizando la ecuación de Bernoulli.

R/ Registrar la presión estática (PE) mediante los tubos de pitot.

A partir del procedimiento 4.3 donde se hallaron las velocidades promedio y el procedimiento 4.6, donde se obtuvo la densidad (δ) para las condiciones del laboratorio. Se calcula la presión dinámica (PD) y la presión total (PT) a partir de la ecuación de Bernoulli.

$$P + \frac{\delta V^2}{2} = \text{constante}$$

Donde,

P = Presión estática (PE)

$\frac{\delta V^2}{2}$ = Presión dinámica (PD)

$PT = PE + PD$

5. INFORME

- 5.1. Calcular cuantos recambios por hora podría generar el ventilador utilizado en la práctica, en un aula de clases de la Universidad Autónoma la cual ocupa un volumen de aire de 120 m^3 . Determinar si el sistema es eficiente, mediante los valores recomendados de la tabla 2.

R/ A partir del procedimiento 4.5 donde se calculan caudales, utilizar alguno de los datos obtenidos para hacer el cálculo correspondiente.

Se debe pasar el valor de caudal hallado a metro cúbico por hora (m^3/h) y dividir este valor por 120 m^3 , que corresponde al volumen de aire que ocupa un aula de clases de la universidad.

Se compara el valor obtenido con la tabla 2 y se determina si el sistema es eficiente.

- 5.2. Conclusiones y recomendaciones.

R/ Conclusiones y recomendaciones que deriven del desarrollo de la práctica.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

**MANUAL PARA EL DOCENTE
LABORATORIO No 3
SISTEMAS DE CAPTACION**

1. OBJETIVO

- 1.1. Reconocimiento de los diferentes tipos de campanas simples, compuestas y cabinas.
- 1.2. Demostrar la distribución de las velocidades de captura alrededor de una campana de succión.
- 1.3. Comprobación de las velocidades en función de la formula DALLA – VALLE.

2. MARCO TEORICO

Sistemas de captación

Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes de que se difundan al ambiente general del local de trabajo. La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, y toma ese nombre independientemente de cual sea su configuración física. La función esencial de la campana es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana.

La nomenclatura asociada a las campanas de extracción es la siguiente:

Velocidad de Captura: Velocidad del aire en un punto cualquiera frente a la boca de la campana, que es necesaria para superar las corrientes de aire opuestas a la captación y capturar el contaminante en ese punto dirigiéndolo hacia la campana.

Velocidad en la Boca: Velocidad en la abertura de la campana.

Velocidad en la Rendija: Velocidad de aire en el pleno, que para una buena distribución del flujo en las rendijas no debe ser superior a la mitad de la velocidad en estas.

Velocidad en el Pleno: Velocidad en la abertura de una campana tipo rendija, su función primaria es la distribución del aire en la boca de la campana.

Velocidad en el Conducto: Velocidad del aire en la sección del conducto, cuando en la corriente del aire existen partículas sólidas. La velocidad en el conducto debe ser igual o superior a la velocidad mínima requerida para que el aire las arrastre.

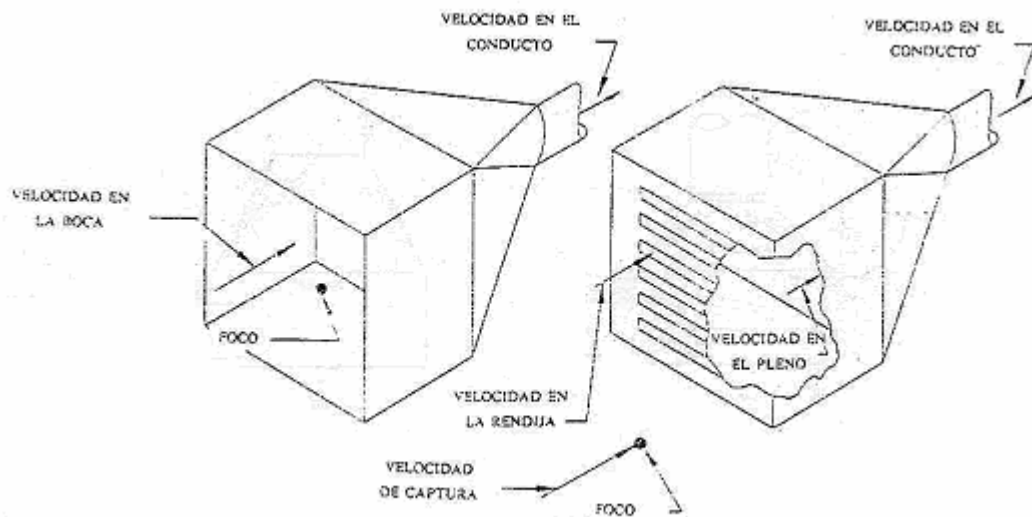


Figura 1 (Campanas de extracción.)

El nombre general utilizado para los sistemas de captación es de campanas. "Su principal función es captar los diferentes contaminantes generados en los procesos industriales".

Dado que la mayoría de los contaminantes carecen de inercia, su movimiento está relacionado con el proceso mismo.

Una campana puede pensarse como un magneto, es decir, como si tuviera una fuerza de atracción para cada molécula de aire en la vecindad, disminuyéndose su capacidad de atracción a medida que las moléculas se apartan de ella.

Básicamente, el aire se aproxima desde todas las direcciones hacia la fuente de succión. El conocimiento del campo formado alrededor de la toma, es necesario para poder calcular el flujo de aire que se necesita extraer en un caso dado.

Aunque las campanas se construyen en una amplia variedad de configuraciones es posible clasificarlas en dos grandes familias: cabinas y campanas exteriores. El tipo de campana a emplear dependerá de las características físicas del equipo o instalación del mecanismo de generación de contaminante y de la posición relativa del equipo y el trabajador.

Cabinas: Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o el punto de generación del contaminante.

Campanas exteriores: Denominamos campanas exteriores a las que se encuentran situadas adyacentes al foco de contaminante pero sin encerrarlo, como por ejemplo las rendijas a lo largo de la boca de una cuba o una abertura rectangular sobre una mesa de soldadura.

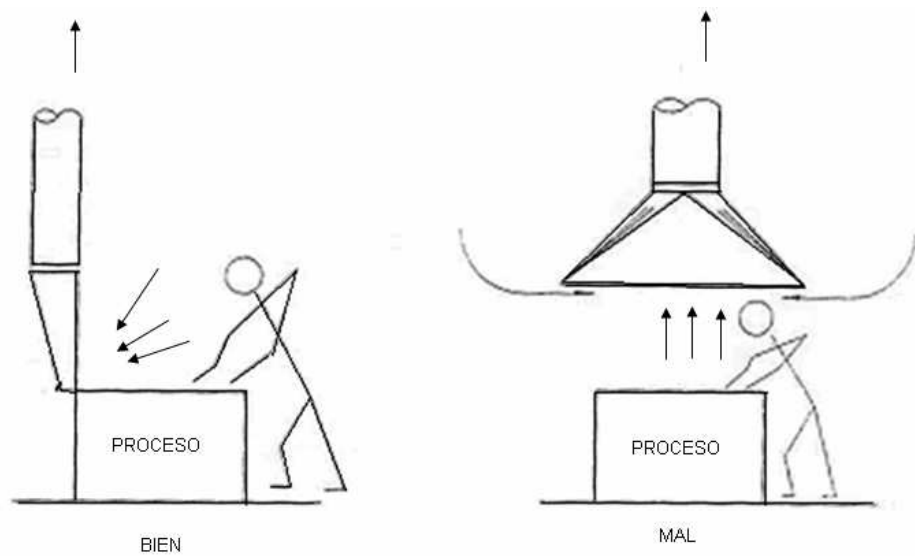


Figura 2 (Interfase trabajador – equipo)

Situé la campana de forma que el contaminante sea alejado de la zona respiratoria del trabajador.

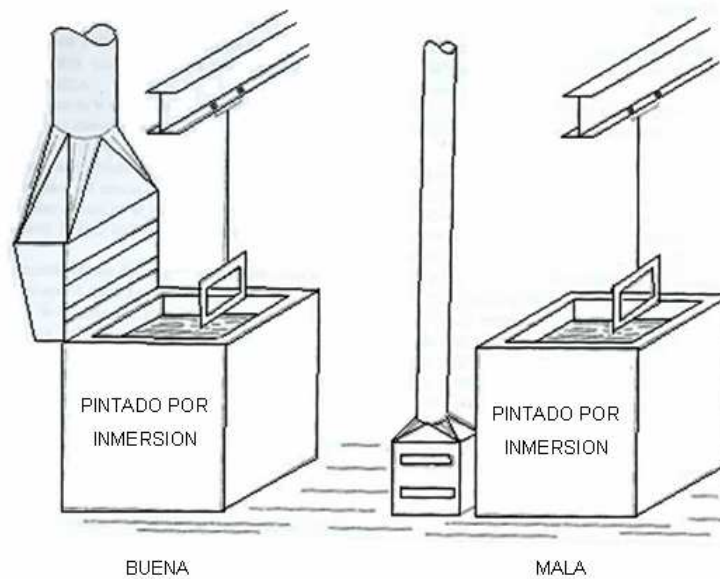


Figura 3 (Efectos de la densidad)

Los vapores de disolventes son peligrosos para la salud no son apreciablemente mas pesados que el aire, la extracción a nivel del suelo proporciona solo protección contra incendios.

Distribución de velocidad alrededor de la campana de succión

Básicamente, el aire se aproxima desde todas las direcciones hacia la fuente de succión. Si la abertura de la campana fuera puntual, se formaría un contorno de flujo alrededor del punto de forma esférica. En la práctica, las aberturas de toma en la campana no son puntuales, sino que presentan un área finita de forma cilíndrica, rectangular o cuadrada. El conocimiento del campo formado alrededor de la toma, es necesario para poder calcular el flujo de aire que se necesita extraer en un caso dado.

Impulsión y extracción de flujo en campanas

El aire impulsado desde una abertura pequeña retiene su efecto direccional a lo largo de una distancia considerable más allá del plano de la abertura. Sin embargo, si el flujo de aire a través de la misma abertura fuera invertido, en forma que operara como una abertura de extracción, que manejara el mismo volumen de aire, el flujo se volvería completamente no direccional y su rango de influencia se reduciría enormemente. Por esta razón las campanas usadas para extracción local no deben ser usadas para ningún proceso que no se pueda realizar en la vecindad inmediata de la campana.

Como se ha dicho, el aire se mueve en todas las direcciones hacia la abertura de succión. Por definición, los contornos de flujo son líneas de igual velocidad al frente de una campana.

Experimentalmente se han determinado las formas de los contornos de velocidad de acuerdo con la distancia desde la abertura de la campana.

La distribución de velocidad producida por la aspiración a través de un conducto circular se indica en la figura 4.

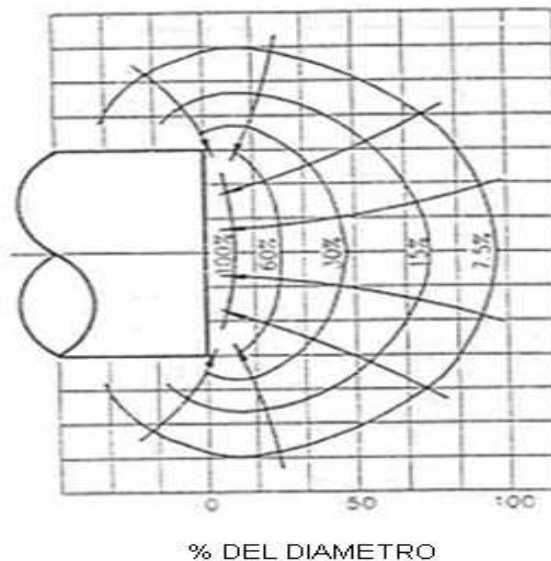


Figura 4 (Perfiles de velocidad – Abertura circular simple - % de la velocidad en la Boca)

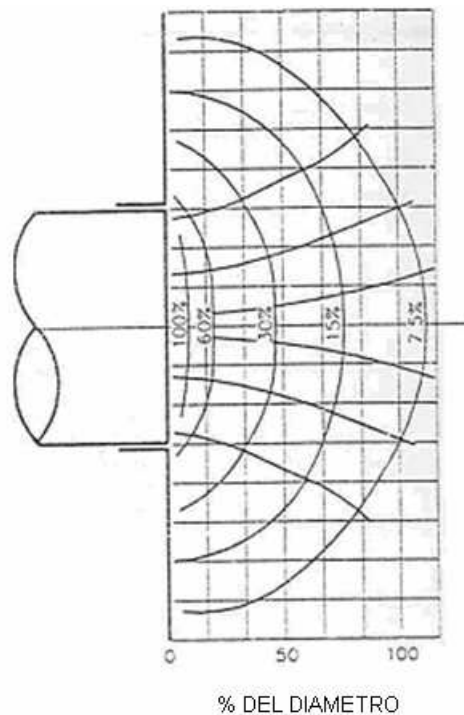


Figura 5 (Perfiles de velocidad – Abertura circular con pestaña - % de la velocidad en la Boca – También conocido como efecto Bafle)

En campanas libremente suspendidas circulares y cuadradas, la velocidad en el eje puede expresarse con una buena aproximación mediante la formula de DALLA – VALLE:

$$V = \frac{Q}{10X^2 + A}$$

V = Velocidad en el eje a distancia X desde la campana.

X = Distancia del punto a la superficie de la boca de aspiración.

Q = Flujo de aire.

A = Área de la abertura de la campana.

La ecuación es valida únicamente para valores de X inferiores a 1.5 D, siendo D el diámetro en el caso de aberturas circulares y el lado para las cuadradas. Cuando las distancias de X son mayores de 1.5 D, la velocidad disminuye mas lentamente con la distancia, de lo que indica la ecuación.

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Ventilador centrífugo
- 3.2. Ductos
- 3.3. Codos

- 3.4. Boquillas (cono reductor)
- 3.5. Velòmetro.
- 3.6. Regla métrica y/o cinta métrica.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Ensamblar el mecanismo de ventilación (impulsión – extracción) y medir diámetros de boquilla.

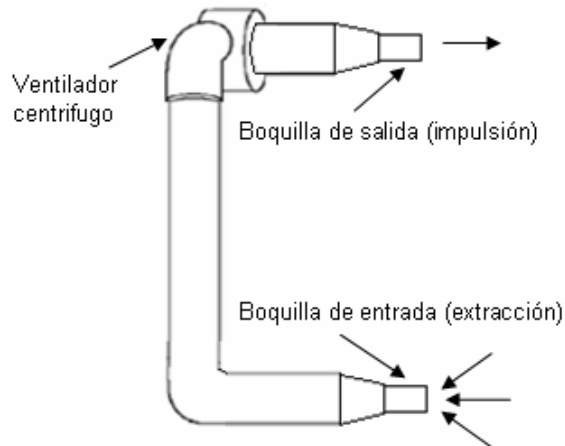


Figura 6 (mecanismo de ventilación)

R/ Montar el sistema de ventilación, el cual debe estar compuesto por ventilador centrífugo, ducto, boquillas (como se ve en la figura 1), esto para que el estudiante empiece a desarrollar la practica comenzando por tomar los diámetros de las boquillas por medio de regla o cinta métrica.

- 4.2. Registrar velocidades de captura en la boquilla de extracción. Completar tabla 1.

Velocidad 1 m/s	Velocidad 2 m/s	Velocidad 3 m/s	Velocidad Media m/s

Tabla 1

R/ Después de tener montado el sistema, este debe colocarse en funcionamiento para empezar a tomar medidas de impulsión y extracción por medio del velòmetro y registrarlos en la tabla 1 para hallar una velocidad media del sistema.

- 4.3. Realice curvas de nivel representándolas gráficamente en forma porcentual con referencia al valor máximo de captura (100% en el borde de la campana).

R/ Después de tener en funcionamiento el sistema, el estudiante debe realizar curvas de nivel para representar gráficamente la efectividad de captura de este; basándose en figura 4.

5. INFORME

5.1. A que distancia encontramos una misma velocidad X , para cada uno de los sistemas (impulsión y extracción) en términos porcentuales y respecto al diámetro de boquilla.

R/ El grafico que presentamos a continuación da una respuesta muy clara a esta pregunta.

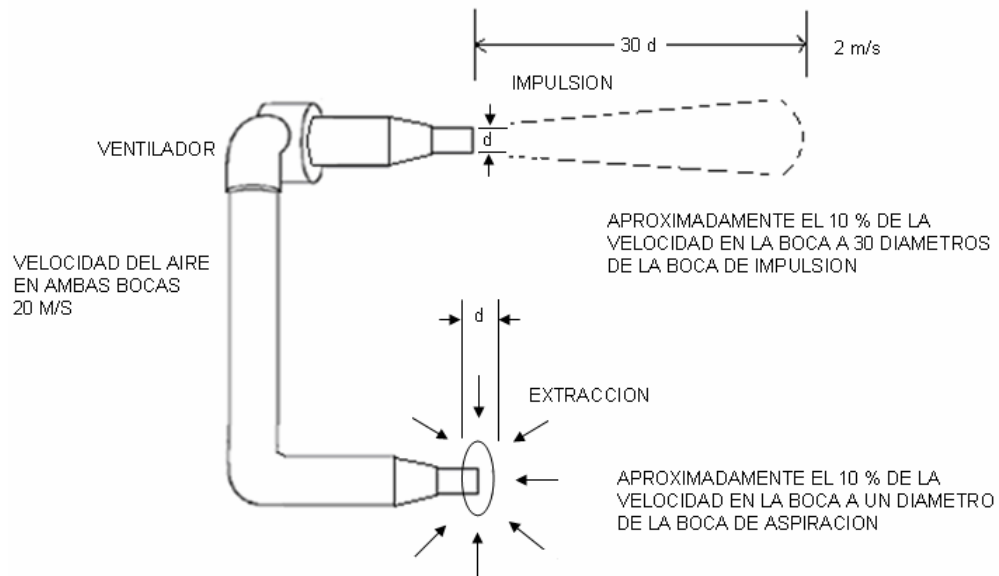


Figura 6 (Comparación entre impulsión – extracción)

5.2. Calcular mediante la formula DALLA – VALLE la velocidad del eje a una distancia de 10 cm.

R/ Utilizando la formula DALLA – VALLE podemos encontrar la velocidad en el eje y no solo a 10 cm. sino también para varios valores de x .

5.3. Demostrar la diferencia de eficiencia entre sistemas de impulsión y extracción.

R/ Para dar respuesta a esta pregunta también nos podemos basar en el grafico que se presenta en la pregunta 5.1.

5.4. Conclusiones y recomendaciones.

R/ Conclusiones y recomendaciones que se deriven del desarrollo de la práctica.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

MANUAL PARA EL DOCENTE
LABORATORIO No 4
TIPOS DE CAPTACION

1. OBJETIVO

- 1.1. Reconocer las propiedades y utilidades de los diferentes tipos de campanas como parte fundamental de un sistema de captación.
- 1.2. Calcular los caudales de acuerdo con cada tipo de campana.

2. MARCO TEORICO

Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes que se difundan en el ambiente general del local de trabajo. La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, su función esencial es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana.

Existen varios tipos de captación de los contaminantes, de acuerdo a las características de las sustancias, las corrientes de aire presentes, el espacio disponible y los procesos que se realizan.

Encerramiento

Para que la captación sea efectiva se necesita un buen encerramiento de la fuente de contaminación con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo.

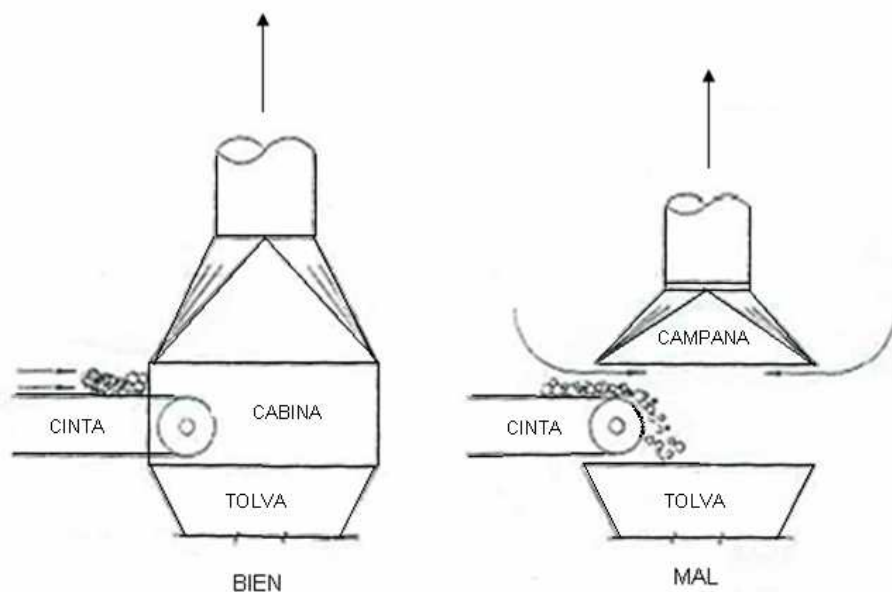


Figura 1 (Encerramiento)

Encierre la operación tanto como sea posible, cuanto mas encerrado este el foco, menos aire es necesario para controlarlo.

Cabinas

Es un sistema de protección idéntico al anterior, con la diferencia de que no puede lograrse un cierre total de las paredes. Generalmente posee paredes laterales y trazaras pero carecen de paredes frontales. La parte libre permite el acceso del operario o las piezas hacia el proceso.

Campanas Externas

Van colocadas externamente a la fuente emisora. Se utilizan cuando no es posible encerrar o poner en una cabina el proceso.

Campanas de captura lateral

Para evitar que los trabajadores estén expuestos a un contaminante o cuando el espacio o el proceso lo exija, es necesario utilizar las campanas laterales. Estas campanas laterales en algunos procesos, especialmente los generadores de contaminantes, vapores, gases y neblinas, son utilizadas con ranuras con el fin de aumentar la velocidad de captura de los contaminantes y obtener una distribución uniforme del aire a través de la cara de la campana.

Campanas suspendidas

Se utilizan solamente en procesos calientes con aire que asciende verticalmente. Se debe evitar su uso en caso que el trabajador labore sobre la fuente, ya que estaría en la corriente de aire que asciende. Estas campanas son de poco uso, debido que son susceptibles a las corrientes de aire cruzadas, las cuales disminuyen su eficiencia.

Sistemas de ranura (Tanques abiertos)

Se utilizan cuando se requiere una velocidad uniforme del aire en una superficie relativamente grande. Las ranuras son muy utilizadas para la extracción de los vapores producidos en operaciones de decapado, tratamiento electrolítico y tratamiento físico – químico de superficies, ya que se realizan en tanques abiertos.

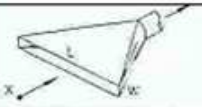





TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCION	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0.2 O MENOS	$Q = 3.7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0.2 O MENOS	$Q = 2.6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0.2 O SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0.2 O SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTACION A LA OPERACION	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTACION A LA OPERACION	$Q = 1.4 PVH$ P = PERIMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACION
	RENDIJA MULTIPLE 2 O MAS RENDIJAS	0.2 O SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MULTIPLE CON PESTAÑA 2 O MAS RENDIJAS	0.2 O SUPERIOR	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

Tabla 1 (Tipos de campana)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Cabinas
- 3.2. Campanas
- 3.3. Velometro

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Con base en la utilización de las graficas, el conocimiento de las propiedades y el factor de forma, se calcula el caudal para cada una de las campanas con formulas predeterminadas experimentalmente por la ACGIH (american conference of govermental industrial hygienists)

R/ Utilizar el sistema de ventilación propuesto en la práctica de laboratorio No 3.

Montar y desmontar las diferentes campanas sugeridas para registrar velocidades de captura y medidas de diseño.

Utilizando la tabla1, se debe calcular cada uno de los caudales para cada una de las campanas propuestas en la práctica.

5. INFORME

5.1. Teniendo como base los procedimientos de la práctica. Determinar que campanas son más eficientes y en que procesos se pueden utilizar.

R/ Con la información planteada en el marco teórico de esta practica se obtiene criterios suficientes para determinar que campanas son mas eficientes y poder nombrar algunos procesos en donde se pueden implementar.

5.2. Conclusiones y recomendaciones.

R/ Conclusiones y recomendaciones que se deriven del desarrollo de la práctica.

6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

MANUAL PARA EL DOCENTE
LABORATORIO No 5
PERDIDA DE PRESION Y VELOCIDADES DE CAPTURA

1. OBJETIVOS

- 1.1. Identificar experimentalmente las velocidades de captura requeridas para capturar a diferentes distancias diversos tipos de materiales particulados.
- 1.2. Con base en la medición experimental de Presión Dinámica, por medio de los Tubos Pitot o velometro y la utilización de graficas para Factor de Perdidas (Fc.), calcular las perdidas en campanas simples, compuestas, ductos y otros accesorios.

2. MARCO TEORICO:

VELOCIDAD DE CAPTURA

Aplicando succión en el punto en que se origina un contaminante antes de que se esparza por la atmósfera general del local, el volumen de aire que se desplaza y la velocidad del aire en la campana de succión dependen de la operación y de la proximidad permisible de la campana al punto de escape del contaminante; si a través de ese punto se aplica una corriente de aire hacia la campana a una velocidad mayor que la de cualquier otra corriente y que la del contaminante, se evita la dispersión del contaminante.

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir en el proceso.

Esta velocidad de captura constituye por lo tanto la primera especificación en que debe basarse el diseñador de un sistema de ventilación exhaustiva.

Además, se denomina velocidad de captura a la velocidad mínima del aire, producida por la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el contaminante. La velocidad de aire lograda es función del caudal de aire aspirado y de la forma de la campana.

Las campanas que aspiran caudales de aire excepcionalmente elevados (por ejemplo, las grandes campanas laterales empleadas para el desmoldeo en las fundiciones) pueden requerir caudales de aire menores que los que se deducen de las velocidades de captura recomendadas para campanas pequeñas. Este fenómeno puede atribuirse a:

- La presencia de grandes masas de aire en movimiento en dirección a la campana.
- El hecho de que el contaminante permanezca bajo la influencia de la campana durante un tiempo mayor que en el caso de campanas pequeñas.
- El hecho de que un caudal elevado proporciona una dilución considerable, tal como se ha expuesto anteriormente.

Condiciones de dispersión del contaminante.	Ejemplo	Velocidad de captura (m/s)
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc.	0.25 – 0.5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura; llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0.5 – 1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras; machacadoras.	1 – 2.5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy del aire.	Desbarbado; chorreado abrasivo; desmoldeo de fundiciones.	2.5 – 10

Tabla 1 (Valores recomendados para la velocidad de captura)

En cada una de las condiciones citadas se indica un margen para los valores de la velocidad de captura. La selección del valor adecuado depende de los siguientes factores:

Limite inferior	Limite superior
<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables a la captura del contaminante. 2. Contaminantes de baja toxicidad o únicamente molestos. 3. Producción de contaminantes baja o intermitente. 4. Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrientes de aire distorsionantes en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Gran producción, uso continuo. 4. Campana pequeña, únicamente control local.

Tabla 2 (Límites para velocidad de captura)

PERDIDAS DE PRESION

Campanas:

En un sistema exhaustivo local, el ventilador crea presión estática negativa. Esto hace que la presión atmosférica empuje aire hacia la campana en un esfuerzo por igualar las presiones. Pero el ventilador continua girando y en unos pocos segundos se establece una condición estable entre el medio y el sistema.

Como el aire posee masa y momento, cuando se encuentra en movimiento, le es difícil voltear esquinas agudas muy rápidamente, es decir, cuando se mueve a alta velocidad. Por esta razón se forma la vena contracta.

Las campanas de boca ancha, con o sin pestañas, solo tienen un factor que origine pérdida de carga significativa.

A medida que el aire entra en el ducto se origina una vena contracta, y a continuación el aire se expansiona para llenar todo el ducto, convirtiendo la presión dinámica en presión estática. Es en esta zona de expansión desde la vena contracta hasta alcanzar la velocidad correspondiente al ducto, donde se origina la mayor parte de la pérdida de carga. Cuando más pronunciada la vena contracta, mayores serán las pérdidas de carga y la presión estática después de la campana.

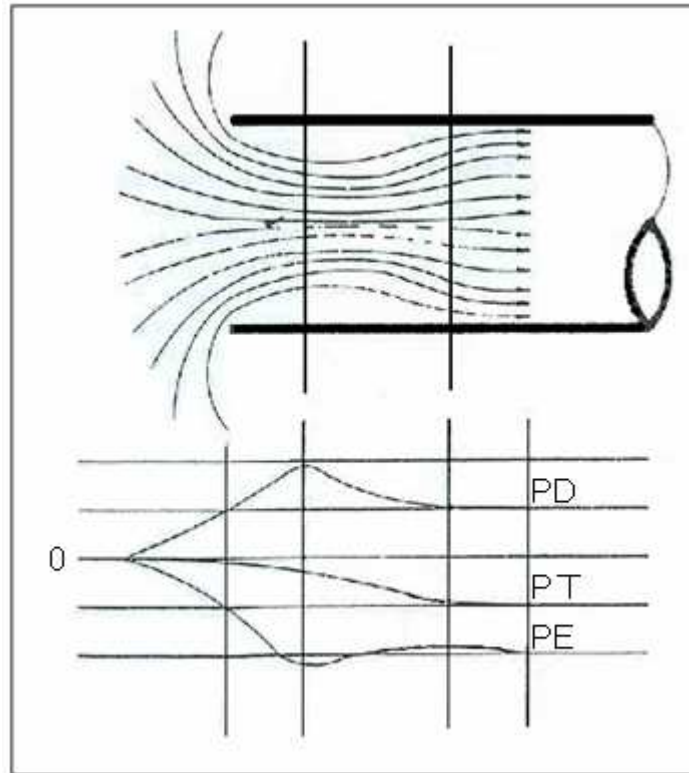


Figura 1 (Vena contracta)

La formación de la vena contracta es acompañada por una conversión de presión estática (PE) en presión de velocidad (PV) y viceversa, así:

Cuando el aire es forzado a través de una abertura estrecha u orificio, su velocidad aumenta. Se requiere más presión estática para que la velocidad del aire alcance la velocidad de la vena contracta. Entonces, cuando el aire se expande y se pone mas lento, es decir, después de la vena

contracta, hay tanta turbulencia que muy poco de la presión estática se gana. Esto quiere decir que la presión estática extra, usada para acelerar el aire hasta la velocidad de la vena contracta, se pierde como calor.

En una campana simple, la presión estática después de la campana es igual a la suma de la presión dinámica en el ducto más la pérdida de carga en la entrada. La presión dinámica representa la presión necesaria para acelerar el aire desde el reposo hasta la velocidad en el ducto; la pérdida de carga en la entrada a la campana representa la energía necesaria para superar las pérdidas a medida que el aire penetra en el ducto esto puede expresarse así:

$$PEc = PDc + hec$$

Donde:

PEc = presión estática de la campana, mmca.

hec = pérdida de carga en la entrada al ducto, mmca. (Ver tabla pérdida en ductos = Fc x PDc;

 Fc: factor de pérdidas en la entrada a la campana).

PDc = presión dinámica en el ducto, mmca.

Esta ecuación se emplea cuando la velocidad en la boca es inferior a 5 m/s. Cuando es superior, la campana debe tratarse como una campana compuesta.

Llamamos campanas compuestas a las que tienen dos o mas puntos significativos de pérdida de energía y que, por tanto, deben ser considerados separadamente y luego sumados para calcular la pérdida de carga total en la campana. Ejemplos corrientes de este tipo de campanas los encontramos en las rendijas, las campanas laterales de múltiples aberturas usualmente empleadas en recubrimientos superficiales, pintura por inmersión, cubas de desengrase, y campanas de desmoldeo en las fundiciones.

La presión estática de una campana con dos puntos de pérdida de carga puede expresarse como:

$$PEc = her + hec PDc$$

Donde:

her = pérdida de carga en la entrada a la rendija, mmca.

Ductos:

Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo del ducto: 1) pérdida de carga en los tramos rectos y 2) pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

- 1) Pérdida de carga en tramos rectos: La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto y la viscosidad cinemática. Los efectos de la velocidad, diámetro y viscosidad cinemática se combinan en el *numero de Reynolds (Re)*, que se define como:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

$$V = \text{Velocidad.del.fluido}(m / s)$$

$$D = \text{Diametro.ducto}(m)$$

$$\nu = \text{Viscosidad.cinematica}(m^2 / s)$$

El efecto de rugosidad superficial se da usualmente mediante la rugosidad relativa, que es el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (ε), definida como la altura media de las rugosidades para un material determinado, y el diámetro del conducto. Algunos valores típicos de rugosidad absoluta empleados en los sistemas de ventilación se dan en la tabla 3.

Material	Rugosidad absoluta (ε), cm.
Chapa galvanizada	0.015
Acero	0.005
Aluminio	0.005
Acero inoxidable	0.005
Conducto flexible (alma descubierta)	0.3
Conducto flexible (alma recubierta)	0.09

Tabla 3 (Rugosidad superficial absoluta)

También se puede hallar la pérdida de carga en el ducto mediante el diagrama de Moody. Este método se presenta de manera opcional, solo para que el docente ilustre al estudiante sobre otros métodos que existen.

Quedara a consideración del docente si desea realizar un ejercicio con este método.

L. F. Moody combino todos estos efectos en un grafico único, usualmente llamado *diagrama de Moody* (ver figura), mediante el cual, si se conoce el numero de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible hallar el factor de fricción (f).

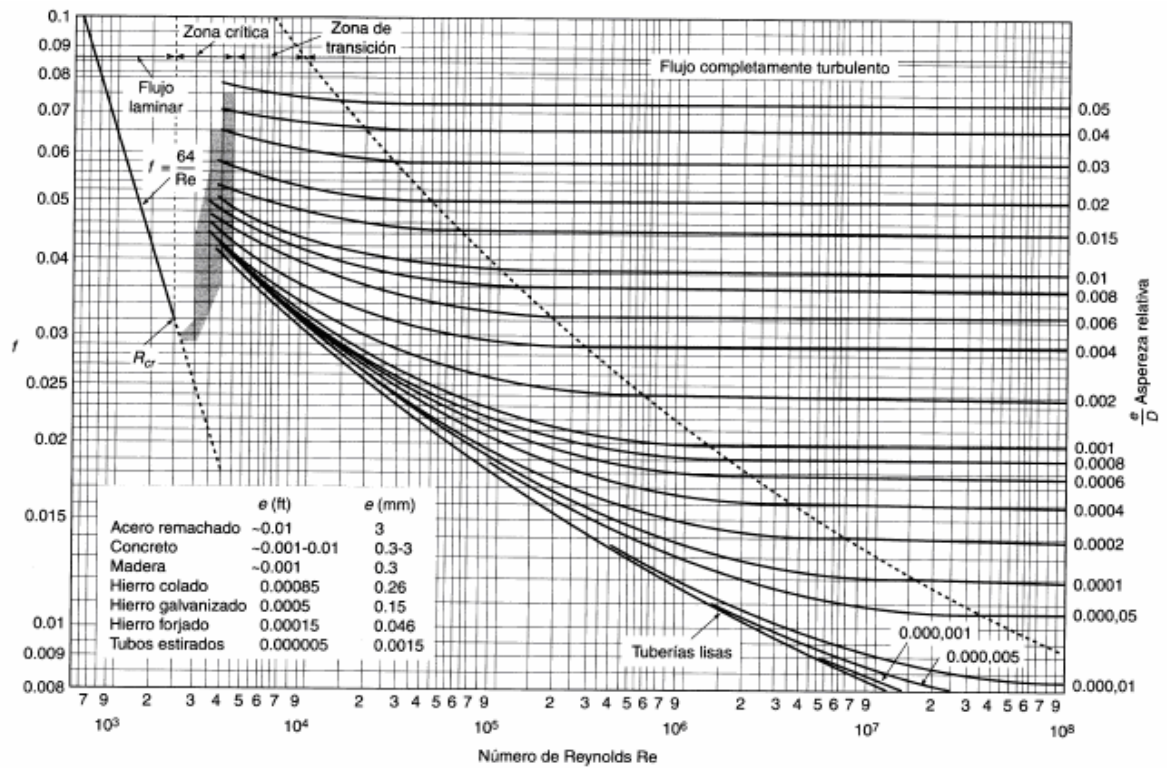


Figura 2(Diagrama de Moody)

Para efectos de cálculo el cociente entre la rugosidad relativa y el diámetro del ducto da como resultado la aspereza relativa para determinar el coeficiente de fricción (f). Así,

$$\text{Aspereza relativa} = \frac{\epsilon}{D}$$

Siendo:

ϵ = Rugosidad relativa o altura absoluta de las rugosidades.

D = Diámetro del ducto.

Una vez determinado, el factor de fricción se utiliza en la *ecuación del factor de fricción de Darcy – Weisbach* a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo:

$$h = f \frac{L}{D} PD$$

Donde:

h = Pérdida de carga en el conducto, mmcd.

f = Factor de fricción del diagrama de Moody (adimensional).

L = Longitud del tramo, m.

D = Diámetro del ducto, m.
PD = Presión dinámica, mmcda.

Las tuberías se construyen cuadradas, rectangulares y redondas principalmente. Los gráficos de los manuales de ventilación para pérdidas por fricción son para tuberías circulares. Para otras formas, se puede calcular de la siguiente manera.

Se halla el diámetro circular equivalente llamado el "diámetro hidráulico". Para tubería rectangular y cuadrada se hace a través de la fórmula.

$$D = 2ab / (a + b)$$

Donde:

D = Diámetro circular equivalente.
a y b = lados del rectángulo.

Dejando fija la capacidad y las pérdidas por fricción, se pueden convertir los ductos circulares a rectangulares o cuadrados y viceversa, conociendo el diámetro del círculo o los lados respectivamente.

Accesorios:

Los accesorios (puntos singulares, codos, uniones, etc.) de un ducto también producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los dos siguientes métodos: 1) el método de la presión dinámica y 2) el método de la longitud equivalente.

El método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (F) multiplicado por la presión dinámica en el ducto.

Así,

$$hp = F.PD$$

hp = Pérdidas de los puntos singulares
F = Coeficiente de pérdida
PD = Presión dinámica

En las reducciones, uniones o ensanchamientos, coexisten varias presiones dinámicas. El valor adecuado para su empleo con el coeficiente de pérdida se indica en las tablas correspondientes.

En el método de la longitud equivalente se considera como función del tamaño del ducto y la presión dinámica. La tabla 2 corresponde a las pérdidas esperadas a velocidades del aire de alrededor de 20 m/s.

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCION	FACTOR DE PERDIDA EN LA ENTRADA (F_c)
	ABERTURA SENCILLA	0.93
	ABERTURA SENCILLA CON PESTAÑA	0.49
	CAMPANA EN CONO O CON ADAPTADOR	0.10
	ENTRADA CAMPANA REDONDEADA	0.04
	ORIFICIO (RENDIJAS)	0.93
	CAMPANA TÍPICA PARA DESBORDADO	SALIDA RECTA = 0.65
		ADAPTACION = 0.40

Tabla 4 (Factor de pérdidas en campanas)

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir en el proceso.

El criterio de evitar despilfarros de potencia, hace necesario determinar para cada situación la velocidad mínima conveniente de captura, ya que esta gobierna el valor del flujo (cantidad de aire por unidad de tiempo).

Esta velocidad de captura constituye por lo tanto la primera especificación en que debe basarse el diseñador de un sistema de ventilación exhaustiva.

Pérdida en campana: La mayor pérdida a la entrada ocurre normalmente al principio del ducto, debido a la vena contracta. La eficiencia de una campana puede describirse por la relación entre el flujo real y el ideal. El flujo ideal se obtiene cuando toda la presión estática en la campana se convierte en presión de velocidad, es decir, no hay pérdidas a la entrada de la campana.

En las reducciones, uniones o ensanchamientos, coexisten varias presiones dinámicas. El valor adecuado para su empleo con el coeficiente de pérdida se indica en las tablas correspondientes.

En el método de la longitud equivalente se considera que el punto singular es equivalente a una cierta longitud de ducto recto que produciría la misma pérdida de carga que él. Esta pérdida es función del tamaño del ducto y de la presión dinámica.

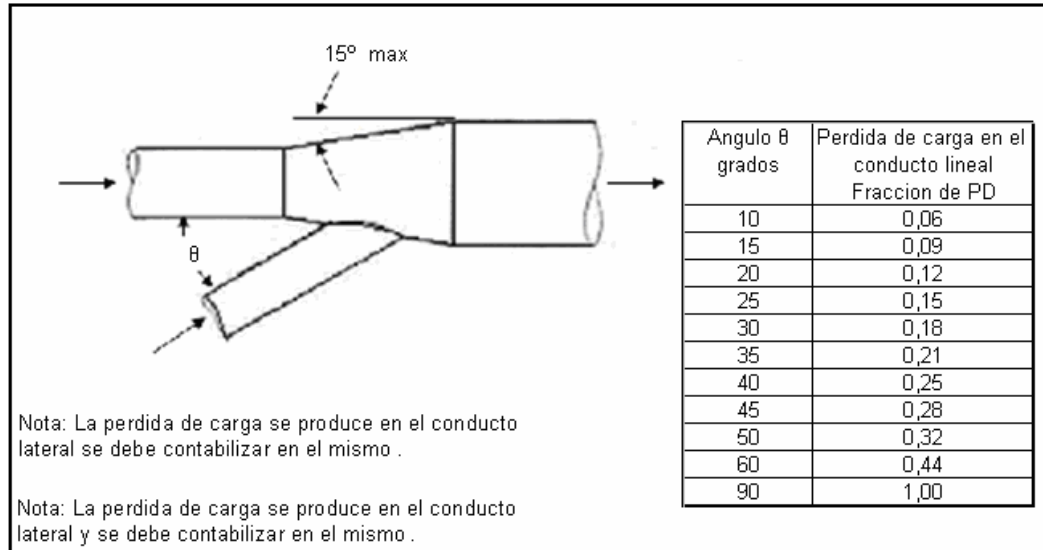


Figura 3 (Pérdida de carga en las uniones)

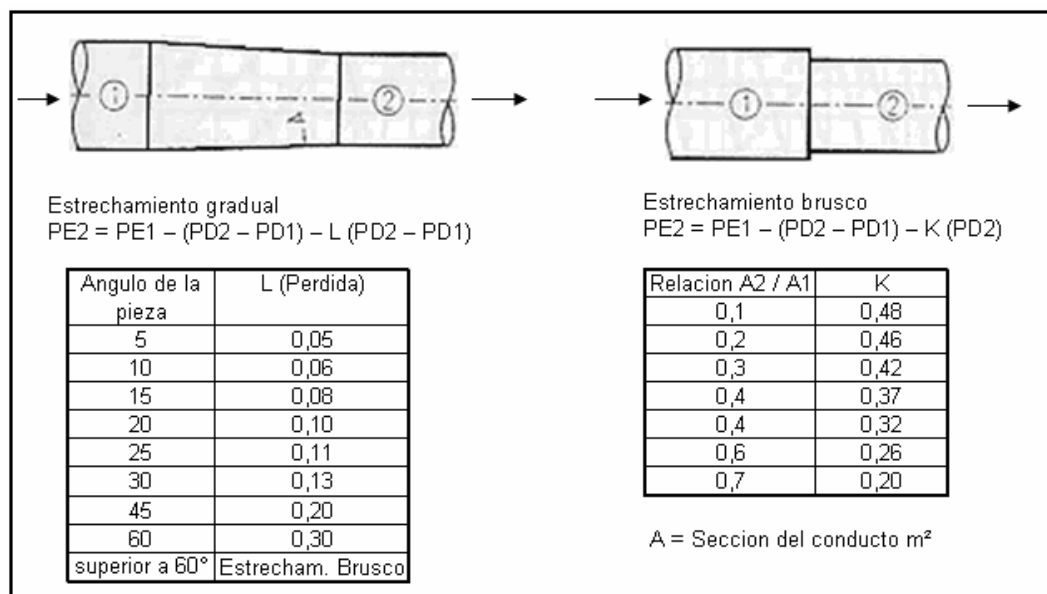


Figura 4 (Pérdida de presión estática en estrechamientos)

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1. Campanas
- 3.2. Ductos
- 3.3. Tubos Pitot
- 3.4. Velómetro

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Teniendo en cuenta el tipo de material particulado a capturar, su concentración y condiciones locativas, se selecciona el tipo de depurador de aire o filtro (accesorios). Los valores de pérdida para cada depurador viene recomendada por la ACGIH, valores que han sido hallados experimentalmente y que se relacionan en la siguiente tabla :

Tipo de captador	Maxima eficiencia con partículas de tamaño medio superior (en micras)	Pérdida de carga (mm cda)	Consumo de agua (lit/m³)	Espacio ocupado	Sensibilidad a cambios de caudal		Influencia de la humedad	Temperatura máxima para construcción standard, °C
					Pérdida de carga	eficacia		
PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO	0,25	12,5	-	grande	desprec.	si	mejora efec.	260
FILTRO DE TELA								
Intermitente - vibrador	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.	puede defilcular la limpieza	
Continuo - vibrador	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.		
Continuo - aire inverso	0,25	75 -150	-	grande	propor. a Q	desprec.		
Continuo - aire comprim.	0,25	75 -150	-	moderado	propor. a Q	desprec.		
VIDRIO AIRE INVERSO	0,25	75 - 200	-	grande	propor. a Q	desprec.		290
HUMEDOS								
Torre de relleno	1 - 5	40 - 90	0,6 - 1,2	grande	propor. a Q	si	ninguna	
Centrifugo	2 - 5	60 -150	0,4 - 0,6	moderado	propor. a Q²	si		
Dinamico	1 - 2	-	0,06 - 0,12	pequeño	pr. a Q o menor	no		
Estrangulamiento	1 - 5	60 -150	1,2 - 5,0	pequeño		varia / diseño		
ALTA EFICACIA								
Camara de niebla	0,5 - 5	50 - 10	0,6 - 1,2	moderado	propor. a Q²	algo	ninguna	sin limite
Venturi	0,5 - 2	250 - 2500	0,6 - 2,0	moderado	propor. a Q²	si		
CENTRIFUGOS SECOS								
Ciclón de baja presión	20 - 40	20 - 40	-	grande	propor. a Q²	si	puede causar	400
Ciclón de alta eficacia	10 - 30	75 - 150	-	moderado	propor. a Q²	si	condensacione	400
Dinamico por via seca	10- 20	-	-	pequeño	-	no	taponamientos	

Tabla 5 (Características de filtros)

Estos valores hacen referencia a las pérdidas de presión dinámica en un sistema de ventilación de los cuales ellos hacen parte.

R/ Previamente se tiene seleccionado la clase de material particulado que se va a capturar utilizando el sistema de extracción, esto para tener en cuenta las pérdidas que

va a registrar el sistema, para así poder estimar por medio de ellas la eficiencia del sistema.

- 4.2. Mediante la utilización del velómetro obtener la presión dinámica en el ducto. El valor hallado se multiplica por el factor de pérdida respectivo que se encuentra en la tabla para cada tipo de campana, ductos y accesorios. Esto para establecer las pérdidas de presión que se generan en todos los elementos que componen un sistema de ventilación. La sumatoria de todas las pérdidas de energía en el sistema, finalmente van a permitir elegir la potencia y características del ventilador en el proceso de diseño.

R/ Debido a que por medio del velómetro también podemos obtener valores de presión dinámica, utilizaremos éste para obtener la presión dinámica del sistema en cada uno de sus componentes, para así determinar las pérdidas en cada uno de ellos, esto para que en el momento de sumar estas tengamos como resultado las pérdidas totales del sistema. Con toda esta información se logrará elegir el mejor ventilador, de acuerdo a las necesidades, para conseguir el mínimo de pérdidas de carga.

5. INFORME

- 5.1. Medir la presión dinámica en los ductos y registrarlos en una tabla de datos.

Elemento	Presión Dinámica (PD)
Campana	
Ducto	
Accesorios	

Tabla 6

R/ Utilizar el velómetro para obtener la presión dinámica de cada uno de los elementos que hacen parte del sistema de ventilación (extracción), y registrarlos en la tabla.

- 5.2. Hallar el factor de pérdida (hp) correspondiente para cada elemento suministrado durante la práctica por medio de las tablas.

R/ Según los elementos que se hallan suministrado para el desarrollo de la práctica determinar el factor de pérdida para cada uno de ellos utilizando las tablas suministradas anteriormente, esto se debe realizar para cada elemento.

- 5.3. Conclusiones y Recomendaciones.

R/ Conclusiones y recomendaciones que se deriven del desarrollo de la práctica.

6. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Practicas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Artes Graficas Soler S.A., Valencia, 1992.

RIGOBERTO QUINCHIA H, JORGE PUERTA S, Ventilación industrial, 1ª Edición, Impreso en Colombia Por Litografía Dinámica, Medellín, 1988.

ANEXO 2

DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL LABORATORIO DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL BAJO LAS NORMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

julian rodríguez tapias
paulo andrés espínosa

*Universidad Autónoma de occidente
Calle 25 No 115-85
Kilómetro 2 vía Cali - Jamundí
Cali*

En el desarrollo industrial, con sus variados y complejos procesos en los cuales se utilizan productos y sustancias químicas, algunos elevadamente tóxicos, se puede generar contaminación como polvos, humos, gases, vapores, neblinas, etc., otros procesos generan contaminación térmica en los ambientes de trabajo y medio ambiente en general.

Ventilación, impulsión, extracción, campana, cabina, ducto, velocidad de captura
Presión, temperatura, filtro, aire de renovación.

1. INTRODUCCIÓN

El interés que impulsó la realización de este laboratorio, fue elaborar una serie de cinco (5) guías didácticas para la adquisición de conocimientos básicos sobre ventilación industrial, además de que también se pudieran orientar hacia la investigación. En el se plantean fundamentalmente los diferentes sistemas de ventilación industrial, equipos a utilizar, terminología, guías prácticas para el estudiante, manuales para que el docente desarrolle estas y se exponen algunos métodos para cálculos necesarios para cuando se pretenda diseñar un sistema de ventilación.

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores, nieblas, etc. El discomfort térmico es originado por ambientes de trabajos insalubres e incómodos, por carecer de

renovación constante del aire. Un sistema de ventilación bien diseñado ofrece una solución eficaz a estas situaciones, en las que se requieren la protección del trabajador. La ventilación también puede ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables u otras situaciones deseadas como el transporte neumático de granos y diversos fluidos.

2. MARCO TEÓRICO

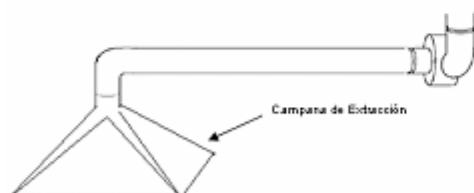
Para mantener la atmósfera del lugar de trabajo en condiciones y composiciones normales, es necesaria una adecuada ventilación, entendiéndose por este término, la circulación y la renovación del aire, lo cual se puede lograr por medios mecánicos o naturales, para lograr un ambiente sano y agradable en los sitios de trabajo

2.1. Aire de renovación

Término empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior que, de forma controlada es introducido en un edificio para sustituir el aire extraído.

2.2. Campana

Entradas diseñadas para capturar el aire contaminado y dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.



(Figura 1) Campana de Extracción

2.3. Filtro de aire

Depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que aquel sea introducido en el edificio.

2.4. Sistemas de ventilación

Comúnmente en la industria se divide en sistemas de impulsión y sistemas de extracción.

Sistemas de impulsión. Utilizado para crear un ambiente confortable en la planta. Impulsa aire

habitualmente templado, a un local de trabajo (Sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación).

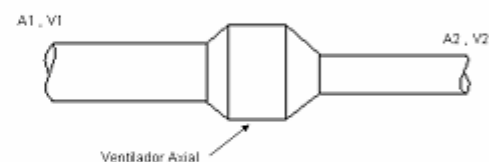
Sistema de extracción. Se emplean para eliminar los contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable. Se clasifican en dos grupos genéricos.

Extracción general. Se emplean para el control de ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en un área.

Extracción Localizada. Se basan en el principio de capturar el contaminante en, O muy cerca de, su origen.

2.5. Caudal (Q)

Se define como caudal o cantidad de flujo el volumen de fluido que pasa por un o por ducto en un determinado tiempo.



(Figura 2) Túnel de viento

Según figura 2. Tratándose de movimiento permanente, la cantidad de fluido o caudal que entra en la sección A_1 es igual al que sale por A_2 .

$$\gamma_1 A_1 \bar{V}_1 = \gamma_2 A_2 \bar{V}_2$$

γ = Peso específico

A = Área de la sección transversal del tubo o ducto

\bar{V} = Velocidad media en la sección

Se deduce que la variación del peso específico γ puede ser despreciada, por lo tanto:

$$A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2$$

De un modo general:

$$Q = A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2 = A \bar{V} = \text{Constante}$$

Q = Flujo ó Caudal (m^3/s)

A = Área sección de flujo (m^2)

\bar{V} = Velocidad media en la sección (m/s)

3. METODOLOGIA

3.1. Investigación

Se realizó una investigación en la región la cual determina una carencia de infraestructura y material teórico con respecto a ventilación industrial ya que los conceptos de fluidos y presiones son utilizados en otras áreas como termodinámica, aplicados en laboratorios de ingeniería mecánica donde se analiza el comportamiento de fluidos en otras consideraciones.

3.2. Recopilación y tabulación

Debido a la escasez de información en el ámbito regional con respecto al tema tratado en este documento. Se optó por recopilar y tabular información teórica de textos y manuales para un posterior análisis.

3.3. Inventario

Se generó un inventario en los laboratorios de Ingeniería Industrial y de otros programas, para determinar la infraestructura con que cuenta la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) que puede ayudar al desarrollo del proyecto.

3.4. Desarrollo

Con la información obtenida se inició la elaboración de cinco (5) prácticas y cinco (5) manuales para el docente de laboratorios sobre ventilación Industrial. Donde se proponen conceptos básicos donde el estudiante puede desarrollar herramientas suficientes para determinar sistemas de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial.

Prácticas de laboratorio. Cada práctica de laboratorio se compone por objetivos, marco teórico, material y equipo, procedimiento, informe y bibliografía.

Manuales para el docente. Tienen los mismos componentes que las prácticas de laboratorio, pero

con un marco teórico más extenso. Además la solución a los cálculos establecidos en el procedimiento y las respuestas a los informes.

Las guías y manuales para el docente se diseñaron bajo el formato que implementa el departamento de sistemas de producción de la UAO, el cual plantea especificaciones de texto diferentes a las recomendadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

4. CONCLUSIONES

1. Se desarrolló teóricamente el laboratorio de ventilación bajo las normas de higiene y seguridad industrial para fortalecer el ejercicio de la docencia, la investigación y extensión en pregrado como en posgrado.
2. Se definieron actividades, métodos y técnicas pedagógicas para aplicar en las prácticas de laboratorio de ventilación que ayuden a la comprobación de los temas teóricos de Salud ocupacional y de las materias de Higiene y Seguridad Industrial de la especialización.
3. Se diseñaron cinco (5) prácticas de laboratorio y cinco (5) manuales para el docente de ventilación industrial de gran calidad para dar plataforma tecnológica en la docencia científica de la especialización y otros programas emergentes como mecánica, biomecánica, ergonomía, ingeniería ambiental, etc.
4. Se establecieron diferentes elementos que permiten, en la academia, desarrollar sistemas de ventilación.
5. Se propone para posterior desarrollo la infraestructura básica en: recursos físicos, maquinaria, equipos y materiales para los laboratorios de ventilación general.
6. Se inventariaron equipos y dispositivos de los laboratorios de otras ingenierías para aprovecharlos como parte del laboratorio de ventilación.

REFERENCIAS

- AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS .
Ventilación Industrial: Manual de Recomendaciones
Practicas para la Prevención de Riesgos
Profesionales . Valencia: Artes Graficas Soler S A ,
1992.
- QUINCHIA, Rigoberto, H; PUERTA, Jorge, S.
Ventilación industrial. Medellín Impreso en
Colombia Por Litografía Dinámica, 1988.